

Dimensionamento de ligações aço-betão segundo a prEN1992-4:2013

DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES AÇO-BETÃO SEGUNDO A prEN1992-4:2013

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em
Engenharia Civil – Ramo de Estruturas

Ana Luísa Ferreira Azevedo N.º1080180

Orientação: Engenheiro Paulo Augusto Ribeiro Guedes (ISEP/DEC)

Coorientação: Engenheiro Adriano Alves de Sousa da Costa Lopes (SE2P)

Porto, Novembro de 2015

À minha família.

“Não é o trabalho, mas o saber trabalhar, que é o segredo do êxito no trabalho. Saber trabalhar quer dizer: não fazer um esforço inútil, persistir no esforço até ao fim, e saber reconstruir uma orientação quando se verificou que ela era, ou se tornou, errada.”

Por Fernando Pessoa

ÍNDICE GERAL

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
AGRADECIMENTOS	xi
ÍNDICE DE TEXTO	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE QUADROS	xxiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xxix
SIMBOLOGIA	xxx
GLOSSÁRIO	xxxv
ABREVIATURAS	xxxvii
1 INTRODUÇÃO	1
2 LIGAÇÕES AÇO-BETÃO	9
3 NORMAS DE DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES AÇO-BETÃO	33
4 DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES AÇO-BETÃO SEGUNDO A prEN1992-4:2013	53
5 FERRAMENTAS DE CÁLCULO	103
6 CASO DE ESTUDO	137
7 CONCLUSÕES	163
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	165
ANEXOS	

RESUMO

O presente relatório documenta o estágio desenvolvido na empresa SE2P – Sociedade de Engenharia, Projeto e Planeamento Lda. no âmbito da unidade curricular de DIPRE (Dissertação/Projeto/ Estágio) do Mestrado em Engenharia Civil – Ramo de Estruturas do Instituto Superior de Engenharia do Porto. A frequência no estágio curricular teve como objetivo principal o desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo que permitisse o dimensionamento de ligações aço-betão segundo a prEN1992-4:2013. O desenvolvimento desta ferramenta resulta da necessidade do dimensionamento de soluções leves, económicas e esteticamente agradáveis tendo em conta a uniformização da legislação existente em toda a União Europeia. Atualmente, os projetistas têm utilizado programas de cálculo automático desenvolvidos por fabricantes de sistemas de ancoragens, como é o caso do *Profis Anchor* da Hilti. Esses programas de cálculo têm como base de dados as Diretrizes de Aprovação Técnica Europeia, a ETAG001- anexo C para dimensionamento de ancoragens mecânicas em betão e o relatório técnico EOTA TR029 para o dimensionamento de ancoragens químicas, apresentando até métodos de cálculo simplificados para uma rápida resposta ao cliente. A publicação da prEN1992-4:2013 é um marco importante, pois há já algum tempo que a construção metálica e mista está regulamentada apresentando algumas falhas no que diz respeito às ligações aço-betão. Esta norma é o culminar de anos de pesquisas, estudos e testes efetuados aos diferentes tipos de ligação tendo em conta além dos modos de rotura possíveis, os princípios de transferência de esforços.

Palavras-chave: dimensionamento de ligações aço-betão, modos de rotura, princípios de transferência de esforços

ABSTRACT

This document embodies the report for the internship that took place at the structural design office SE2P – Sociedade de Engenharia, Projeto e Planeamento Lda. in the context of the curricular unit DIPRE of the Master's Degree on Civil Engineering of ISEP.

Besides the acquaintance to a professional environment — quite different from the academic one the candidate was used to— the main objective of this internship was set as the development of an automatic tool allowing for the dimensioning of mixed concrete-steel connections according to prEN1992-4:2013.

The publication of prEN1992-4:2013 is an important mark on the field of structural engineering and it is the result of years of studies, research and tests performed on different types of fastenings taking into account several load transfer mechanisms and failure modes.

Up until now, designers have been using software solutions provided by the companies supplying the anchors systems (e.g. *Hilti's Profis Anchor*). These commercial software solutions have been, themselves, developed according to both some guidelines for European Technical Approval such as ETAG 001- Annex C (metal anchors for use in concrete) and Technical Reports like EOTA TR029 (design of bonded anchors).

The development of the MS-Excel software presented on this document, is the outcome of a necessity for a general dimensioning tool providing light, economical and aesthetic pleasant solutions for this kind of particular fastenings, according to a —even if still in discussion— proposal for a new part of Eurocode 2.

Keywords: design of steel-concrete connections, failure modes, load transfer mechanisms

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador na SE2P, Senhor Engenheiro Adriano Lopes, por toda a compreensão, apoio e ensinamentos que me tem transmitido ao longo dos últimos meses. Obrigada pela oportunidade de realizar o meu estágio curricular na sua empresa, por acreditar nas minhas capacidades e por todas as vezes que me incentivou a querer e procurar mais. Estagiar na SE2P fez-me crescer muito, tanto a nível pessoal como também a nível de conhecimentos. Não poderia pedir um melhor início para a minha vida profissional, estou constantemente a evoluir e a sentir-me realizada em cada tarefa que termino. Agradeço-lhe por todas as oportunidades que me tem proporcionado e por todo o reconhecimento.

Ao meu orientador no ISEP, Senhor Engenheiro Paulo Guedes, não só pelo apoio prestado durante o estágio curricular como também pelos ensinamentos nas unidades curriculares que leciona. Foi um privilégio ter sido orientada por si e ter sido sua aluna.

Ao Senhor Engenheiro Ricardo Santos pela sua total disponibilidade. Obrigada por todo o apoio e ajuda que prestou no desenvolvimento da ferramenta de cálculo, nomeadamente nos conhecimentos relacionados com programação e linguagem VBA.

A toda a equipa da SE2P pelo ambiente vivido em gabinete e por desde o primeiro dia sempre terem mostrado disponibilidade e vontade em me ajudar em todas as questões que coloquei, tendo-me recebido da melhor forma.

Às minhas amigas Sónia Costa, Daniela Guedes e Telma Pacheco pela amizade, paciência, motivação e ajuda não só a nível académico como também a nível pessoal, por todos os momentos de felicidade extrema que ainda me continuam a proporcionar e por serem quem são para mim.

À minha tia Rosa e padrinho Nuno por quem tenho um grande carinho e é para mim uma grande alegria que estejam presentes na minha vida.

Aos meus avôs José Ferreira e José Azevedo por toda a educação e ensinamentos que me transmitiram ao longo destes anos. À minha avó Fernanda que infelizmente não pode presenciar este momento, mas certamente tem estado a olhar por mim.

Ao meu cunhado Gabriel Rocha, por todo o apoio e incentivo. A sua opinião foi sempre importante para mim. Mais que um cunhado, é um irmão mais velho.

Ao meu namorado Ricardo Pereira, por tudo o que tem acontecido na minha vida. O seu apoio e ajuda no meu percurso académico foram cruciais no alcance desta etapa. Sem ele tudo seria diferente. Obrigada por partilhar a sua inteligência e conhecimentos comigo, por me incentivar e nunca deixar desistir, por ser o meu melhor amigo, pela compreensão que sempre teve quando estive mais ocupada nos últimos tempos e acima de tudo por todo o amor que é sem dúvida a fonte de toda a minha força.

Às minhas irmãs Ângela e Inês por serem as minhas melhores amigas. São sem dúvida a melhor prenda que os meus pais algum dia me deram. Obrigada por toda a amizade, carinho, atenção, apoio e amor que me têm dado ao longo destes anos. Sem vocês a minha existência seria muito triste e o meu desejo é que nunca me falem um único dia da minha vida. À minha sobrinha Maria Leonor, que apesar de só ter 24 meses é a luz dos meus olhos e a minha verdadeira alegria.

Aos meus pais Rosa Maria e José Alberto, que são os meus heróis. Obrigada por TUDO. Obrigada por me terem conseguido proporcionar uma vida privilegiada, por todos os sacrifícios que fizeram e ainda fazem para que eu e as minhas irmãs possamos alcançar os nossos sonhos. Não escolheria outra família para fazer parte. Amo-vos e estarei eternamente grata por tudo o que fazem por mim.

À minha avó Rosa, que apesar de ainda estar entre nós já não possui capacidades que lhe possibilitem compreender o que acabo de alcançar. Obrigada por ser o meu exemplo e por ter feito de mim a mulher que sou hoje. Foi, é e sempre será a minha segunda mãe.

ÍNDICE DE TEXTO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA DE ACOLHIMENTO DO ESTÁGIO	1
1.2	ENQUADRAMENTO GERAL	4
1.3	OBJETIVOS DO ESTÁGIO	7
1.4	ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO	8
2	LIGAÇÕES AÇO-BETÃO	9
2.1	NOTA HISTÓRICA	9
2.2	DISPOSIÇÕES GERAIS	10
2.3	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DAS LIGAÇÕES AÇO-BETÃO	11
2.3.1	Classificação das ligações	11
2.3.2	Constituição de uma ligação aço-betão	12
2.3.3	Betão como material base e sua condição	19
2.3.4	Tipos de solicitação	21
2.3.5	Princípios de transferência de esforços	22
2.3.6	Modos de rotura	22
2.3.7	Comportamento das ligações a longo prazo	25
3	NORMAS DE DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES AÇO-BETÃO	33
3.1	EVOLUÇÃO DOS ESTUDOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS.....	33
3.1.1	Método do Cone previsto em ACI 349 (1985).....	33
3.1.2	Método “K” (Eligehausen, Fuchs, Mayer, Rehm e Malle, 1987/1988).....	35
3.1.3	Método de Bode e Roik (1987)	37
3.1.4	Método “CCD” (Fuchs, Eligehausen e Breen, 1995)	38
3.1.5	Guia de dimensionamento do “CEB/ fib” (1997/ 2011)	39
3.2	MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE ANCORAGEM	40
3.2.1	Anexo C – ETAG 001	41
3.2.2	EOTA TR029	50
3.2.3	Método simplificado da Hilti.....	52

4	DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES AÇO-BETÃO SEGUNDO A PREN1992-4:2013.....	53
4.1	INTRODUÇÃO.....	53
4.2	CAMPO DE APLICAÇÃO.....	54
4.2.1	Tipos de dispositivos de ancoragem.....	54
4.2.2	Características dos dispositivos de ancoragem.....	54
4.2.3	Características do material base: betão.....	55
4.2.4	Condição do betão.....	55
4.2.5	Modos de Rotura.....	56
4.3	PRINCÍPIOS DE DIMENSIONAMENTO.....	56
4.3.1	Considerações gerais.....	56
4.3.2	Verificações previstas.....	57
4.3.3	Verificação pelo método dos coeficientes parciais.....	57
4.4	DISTRIBUIÇÃO DOS ESFORÇOS PELOS ELEMENTOS DA LIGAÇÃO.....	59
4.4.1	Chumbadouros, Buchas Mecânicas e Químicas.....	59
4.4.2	Canais de ancoragem.....	64
4.4.3	Esforços associados a armadura existente na zona da ligação.....	65
4.5	VERIFICAÇÕES AO ESTADO LIMITE ÚLTIMO DE ROTURA.....	65
4.5.1	Considerações gerais.....	65
4.5.2	Chumbadouros, Buchas Mecânicas e Químicas.....	66
4.5.3	Canais de ancoragem.....	81
4.6	VERIFICAÇÃO AO ESTADO LIMITE ÚLTIMO DE FADIGA.....	90
4.6.1	Considerações Gerais.....	90
4.6.2	Esforço Axial.....	91
4.6.3	Esforço de Corte.....	92
4.6.4	Combinação de esforços axiais e corte.....	93
4.7	VERIFICAÇÃO À AÇÃO SÍSMICA.....	94
4.7.1	Considerações gerais.....	94
4.7.2	Categorias de desempenho.....	95
4.7.3	Capacidade resistente.....	96
4.7.4	Deslocamento.....	97
4.8	VERIFICAÇÃO A AÇÕES DE IMPACTO.....	98
4.9	VERIFICAÇÃO À AÇÃO DO FOGO.....	98
4.9.1	Considerações gerais.....	98

4.9.2	Verificação da capacidade resistente.....	99
4.10	VERIFICAÇÃO AO ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO	102
5	FERRAMENTAS DE CÁLCULO	103
5.1	INTRODUÇÃO	103
5.2	ORGANIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE CÁLCULO	104
5.3	APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS FOLHAS DE CÁLCULO	105
5.3.1	Dimensionamento de ligações aço-betão: chumbadouros, buchas químicas e mecânicas	105
5.3.2	Dimensionamento de ligações aço-betão: canais de ancoragem	119
5.4	VALIDAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE CÁLCULO	122
5.4.1	Dimensionamento de ligações aço-betão: chumbadouros, buchas químicas e mecânicas	122
5.4.2	Dimensionamento de ligações aço-betão: canais de ancoragem	135
6	CASO DE ESTUDO.....	137
6.1	DESCRIÇÃO	137
6.2	ARQUITETURA.....	137
6.3	LIGAÇÕES AÇO-BETÃO	138
6.3.1	Identificação e apresentação das ligações de base aço-betão ao nível do piso 1.	139
6.3.2	Identificação e apresentação das ligações de aço-betão de fachada	140
6.4	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE CÁLCULO: “DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES AÇO-BETÃO: CHUMBADOUROS, BUCHAS QUÍMICAS E MECÂNICAS”	141
6.4.1	Verificação da segurança da ligação do tipo 2	141
6.4.2	Testes paramétricos	142
6.5	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE CÁLCULO: “DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES AÇO-BETÃO: CANAIS DE ANCORAGEM”	158
6.5.1	Levantamento dos dados a introduzir na ferramenta de cálculo	158
6.5.2	Determinação dos esforços atuantes.....	158
6.5.3	Solução prevista	158
6.5.4	Resultados.....	160
7	CONCLUSÕES	163

7.1	CONCLUSÕES FINAIS	163
7.2	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	164

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Logótipo da empresa. [SE2P]	1
Figura 1.2 - Países onde a SE2P desenvolve atualmente a sua atividade.....	2
Figura 1.3 - Ligação estrutural madeira - madeira com recurso a dispositivos metálicos. [1] .	5
Figura 1.4 - Ligação estrutural metal - metal.....	5
Figura 1.5 - Ligação aço-betão no Teleférico de Gaia. Julho 2015	6
Figura 1.6 – Ligação aço-betão na estrutura metálica do parque de estacionamento da Trindade no centro da cidade do Porto. Julho 2015	6
Figura 1.7 - Exemplo de uma ligação estrutural aço-betão com utilização de cutelos.....	7
Figura 2.1 - Fases construtivas do Coliseu de Roma.....	9
Figura 2.2 - Ligação pilar- fundação com chumbadouros.....	10
Figura 2.3 - Ligação viga metálica a viga de betão armado.	10
Figura 2.4 – Exemplo de constituição em planta de uma ligação aço-betão. [SE2P]	13
Figura 2.5 - Exemplo de constituição em corte de uma ligação aço-betão. [SE2P].....	13
Figura 2.6 - Chapa gabarit colocada para impedir o deslocamento dos chumbadouros aquando a betonagem dos elementos. Fotografia de uma das ligações aço-betão projetadas para a ampliação de uma unidade fabril.	14
Figura 2.7 - Instalação de chumbadouros. Fotografia de uma das ligações aço-betão projetadas para a ampliação de uma unidade fabril.	16
Figura 2.8 – Instalação de chumbadouros. Fotografia de algumas das ligações aço-betão projetadas para a ampliação de uma unidade fabril.	16
Figura 2.9 – Cápsula apropriada para instalação de dispositivos de ancoragem colocados após a betonagem.	17

Figura 2.10 – Químico de injeção com o porta-cartuchos e dispensador manual HDM do fabricante Hilti.	17
Figura 2.11 – Excerto de algumas instruções de aplicação para um dispositivo de ancoragem mecânica.	17
Figura 2.12 - Aplicação de um canal de ancoragem para fachadas envidraçadas. Edifício Metropolitan Warsaw na Polónia.[5].....	18
Figura 2.13 - Aplicação de um canal de ancoragem em ligações de elementos de betão pré-fabricados. [5]	18
Figura 2.14 - Aplicação de um canal de ancoragem em linhas aéreas de ferrovias. [5]	19
Figura 2.15 - Fendilhação provocada por uma carga F.	19
Figura 2.16 - Fendilhação provocada por uma variação de temperatura.....	19
Figura 2.17 - Exemplos de algumas das solicitações de esforços possíveis em dispositivos de ancoragem.....	21
Figura 2.18 - Rotura do aço.	24
Figura 2.19 - Rotura do betão sob a placa de base metálica.	24
Figura 2.20 - Rotura betão pelo bordo.	24
Figura 2.21- Rotura por cone de betão.	24
Figura 2.22 - Rotura por “ <i>splitting</i> ”.	24
Figura 2.23 - Rotura do betão junto a dois bordos.	24
Figura 2.24 - Estrutura metálica em San Marcos, Texas, antes do colapso das suas ligações estruturais aço-betão.	25
Figura 2.25 - Estrutura metálica em San Marcos, Texas, após o colapso das suas ligações estruturais aço-betão.	26
Figura 2.26 - Exemplos de corrosão em dispositivos de ancoragem.....	27
Figura 2.27 – Identificação das zonas de ataque por corrosão.	28

Figura 2.28 - Corrosão em dispositivos de ancoragem Hilti em aço carbono revestidos de zinco. [9]	29
Figura 2.29 - Corrosão por picada em dispositivos de ancoragem Hilti em aço inoxidável. [9]	29
Figura 2.30 - Relação entre largura da fenda e número de ciclos.	30
Figura 2.31 - Dispositivo de ancoragem com superfície de rotura associada ao fenómeno de fadiga.....	30
Figura 2.32 - Relação entre tensão do aço [N/mm^2] e o tempo até à rotura [min]. [8]	31
Figura 3.1 - Cone de betão. Ensaio de tração resultante em rotura do elemento de betão. [11]	33
Figura 3.2 - Cone de betão idealizado no método do Cone do ACI 349. [11].....	34
Figura 3.3 – Exemplos de determinação da área de referência efetiva para o cálculo da carga de rotura pelo Método do Cone do ACI 349. Dispositivo de ancoragem próximo ao bordo (esquerda) e dispositivos de ancoragem pouco espaçados (direita). [11]	34
Figura 3.4 - Cone de betão idealizado no método "K". [11].....	35
Figura 3.5 - Ângulo α em graus, do cone de rotura em função da profundidade de embebimento h_{ef} (mm). [3]	35
Figura 3.6 - Dispositivos de ancoragens com excentricidade na carga resultante, exemplo com todos os dispositivos de ancoragem tracionados (esquerda) e com apenas dois dispositivos tracionados (direita). [11]	36
Figura 3.7 – Pirâmide de betão idealizada no método “CCD”. [11].....	38
Figura 3.8 - Exemplos de determinação da área de referência efetiva para o cálculo da carga de rotura pelo Método do “CCD”. [13]	38
Figura 3.9 - Processo de dimensionamento para o Estado limite último de rotura, segundo <i>fib</i> [12].	40
Figura 4.1 - Ligação aço-betão submetida a esforços de tração e momento fletor. [2].....	60

Figura 4.2 - Grupo de dois dispositivos de ancoragem carregados paralelamente ao bordo. [2]	61
Figura 4.3 - Exemplo da aplicação de um momento torsor a um grupo de 4 dispositivos de ancoragem. [2]	61
Figura 4.4 - Definição do efeito de alavanca. [2]	62
Figura 4.5 - Definição do valor de αM . [16]	63
Figura 4.6 - Armadura existente que aumenta a capacidade resistente à aplicação de um esforço de corte, para chumbadouros, buchas e canais de ancoragem. [2]	65
Figura 4.7 - Exemplos de casos onde será necessário proceder à substituição de hef por hef' . [2]	71
Figura 4.8 - Exemplo de uma carga cíclica regular. [16]	91
Figura 5.1- Identificação das componentes das folhas de cálculo: componente ativa (sinalizado a verde) e componente passiva (sinalizado a vermelho).	104
Figura 5.2 – Interface da folha ‘INÍCIO’.	106
Figura 5.3 - Formulário para introdução de dados, separador “Dados da ligação”.	107
Figura 5.4 – Formulário para introdução de dados, separador “Ajuda”	108
Figura 5.5 - Formulário para introdução de esforços.	109
Figura 5.6 – Relação entre as direções (1,2) com (x,y).	110
Figura 5.7 – Tabela de distribuição de esforços retirada de um relatório de cálculo obtido através do “software” da Hilti.	111
Figura 5.8 – Formulário criado com objetivo de auxiliar o processo de obtenção da distribuição dos esforços na ferramenta de cálculo.	112
Figura 5.9 – Formulário criado com o objetivo de auxiliar o processo de gerar o modelo 2D em AUTOCAD.	113
Figura 5.10 - Verificação da existência de efeito de alavanca.	116
Figura 5.11 - Interface da determinação das folhas a consultar.	117

Figura 5.12 - Figura com um exemplo de um quadro-resumo que está associado à folha de cálculo com o nome de 'ACA-C'.....	119
Figura 5.13 - Excerto da secção "Solução prevista" da ferramenta de cálculo para dimensionamento de canais de ancoragem.....	121
Figura 5.14 - Pormenor em planta da ligação a verificar, associada ao método I. [SE2P].	123
Figura 5.15 - Pormenor em corte da ligação a verificar, associada ao método I. [SE2P] ...	123
Figura 5.16 - Perspetiva do pilar, estrutura metálica e respetivas ligações, associadas ao método III. [SE2P].....	132
Figura 5.17 - Pormenor em planta da ligação a verificar, associada ao método III. [SE2P]	133
Figura 5.18 - Pormenor I em corte da ligação a dimensionar, associado ao método III. [SE2P]	133
Figura 5.19 - Pormenor II em corte da ligação a dimensionar, associado ao método III. [SE2P]	133
Figura 6.1 - Planta do piso 1 associado à 2ª fase da obra. [SE2P]	138
Figura 6.2 - Alçado do projeto associado à 2ª fase da obra. [SE2P]	138
Figura 6.3 - Identificação dos três tipos de ligação aço-betão existentes ao nível do piso 1. [SE2P]	139
Figura 6.4 - Localização das ligações aço-betão de fachada.[SE2P]	140
Figura 6.5 - Pormenores construtivos (em planta e corte) da ligação tipo 2 do caso de estudo. [SE2P]	142
Figura 6.6 - Pormenor construtivo da ligação do tipo 1. [SE2P]	143
Figura 6.7 - Esquema de montagem dos canais de ancoragem (ligação aço-betão da fachada). [SE2P]	158
Figura 6.8 - Solução prevista e parâmetros de cálculo associados.	160
Figura 6.9 – Transcrição do quadro resumo da ferramenta de cálculo de dimensionamento de canais de ancoragem.....	161

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1 – Projetos em que a SE2P esteve envolvida, em território nacional.	2
Quadro 1.2 - Projetos em que a SE2P esteve envolvida, em território internacional.	3
Quadro 2.1 - Classificação dos dispositivos de ancoragem segundo Rolf Eligehausen [4]. .	11
Quadro 2.2 – Classificação dos dispositivos de ancoragem segundo a prEN1992-4:2013. [2]	12
Quadro 2.3 - Valores de diâmetro nominais [mm] e áreas [mm ²].	15
Quadro 2.4 - Classificação dos tipos de chumbadouros quanto à classe de resistência.	15
Quadro 2.5 - Classificação das classes de exposição em função das condições ambientais, de acordo com a EN 206-1. [6]	20
Quadro 2.6 - Valores recomendados de $w_{máx}$ [mm]. [6]	21
Quadro 2.7 - Princípios de transferência de esforços.....	22
Quadro 2.8 - Modos de rotura associados ao esforço axial segundo Rolf Eligehausen [7]. .	23
Quadro 2.9 - Modos de rotura associados ao esforço de corte segundo Rolf Eligehausen [7].	23
Quadro 2.10 - Causas da ocorrência da corrosão considerando as diferentes zonas.	28
Quadro 3.1 - Coeficientes parciais de segurança para o Anexo C - ETAG 001. [13].....	41
Quadro 3.2 - Verificações a efetuar segundo Anexo C - ETAG 001. [13].....	42
Quadro 3.3 - Verificações a efetuar segundo EOTA TR029. [14].....	50
Quadro 4.1 - Características dos dispositivos de ancoragem. [2].....	54
Quadro 4.2 - Características de resistência do betão para as classes aplicáveis. [6].....	55
Quadro 4.3 - Valores recomendados para os coeficientes parciais para ações. [2]	57

Quadro 4.4 - Valores recomendados dos coeficientes parciais para cargas estáticas, de impacto ou de ação sísmica. [2].....	58
Quadro 4.5 - Valores recomendados dos coeficientes parciais associados ao fenómeno de fadiga. [2].....	59
Quadro 4.6 - Dimensões das folgas. [2]	62
Quadro 4.7 - Quadro-Resumo das verificações previstas para esforço axial. [2]	67
Quadro 4.8 - Procedimentos para a verificação da rotura ao aço sob influência de um esforço axial.	68
Quadro 4.9 - Procedimentos para a verificação da rotura ao “pull-out” sob influência de um esforço axial.....	68
Quadro 4.10 - Procedimentos para a verificação à rotura por combinação dos fenómenos de “pull-out” e cone de betão sob influência de um esforço axial.	69
Quadro 4.11 - Procedimentos para a verificação à rotura por cone de betão sob influência de um esforço axial.....	70
Quadro 4.12 - Procedimentos para a verificação à rotura por “splitting” sob influência de um esforço axial.....	72
Quadro 4.13 - Procedimentos para a verificação à rotura por “blow-out” sob influência de um esforço axial.....	72
Quadro 4.14 - Procedimentos para a verificação à rotura do aço da armadura existente sob influência de um esforço axial.	73
Quadro 4.15 - Procedimentos para a verificação à rotura da ancoragem da armadura existente no elemento de betão sob influência de um esforço axial.	74
Quadro 4.16 - Quadro-Resumo das verificações previstas para esforço de corte. [2]	74
Quadro 4.17 - Procedimentos para a verificação à rotura do aço sem efeito de alavanca sob influência de um esforço de corte.	75
Quadro 4.18 - Procedimentos para a verificação à rotura do aço com efeito de alavanca sob influência de um esforço de corte.	76

Quadro 4.19 - Procedimentos para a verificação à rotura do betão pelo bordo sob influência de um esforço de corte.	77
Quadro 4.20 - Procedimentos para a verificação à rotura do betão “ <i>pry-out</i> ” sob influência de um esforço de corte.	78
Quadro 4.21 - Procedimentos para a verificação à rotura do aço da armadura existente sob influência de um esforço de corte.	79
Quadro 4.22 - Procedimentos para a verificação à rotura da ancoragem da armadura existente no elemento de betão sob influência de um esforço de corte.....	79
Quadro 4.23 - Verificações para combinação dos esforços axiais e corte sem existência de armadura no elemento de betão. [2]	80
Quadro 4.24 - Verificações para apenas esforços axiais ou esforços de corte com existência de armadura no elemento de betão. [2]	80
Quadro 4.25 - Quadro-Resumo das verificações previstas para Esforço Axial.[2].....	81
Quadro 4.26 - Procedimentos para a verificação da rotura ao aço sob influência de um esforço axial.	82
Quadro 4.27 - Procedimentos para a verificação da rotura por “ <i>pull-out</i> ” sob influência de um esforço axial.	83
Quadro 4.28 - Procedimentos para a verificação da rotura por cone de betão sob influência de um esforço axial.....	83
Quadro 4.29 - Procedimentos para a verificação da rotura por “ <i>splitting</i> ” sob influência de um esforço axial.	84
Quadro 4.30 - Procedimentos para a verificação da rotura por “ <i>blow-out</i> ” sob influência de um esforço axial.	85
Quadro 4.31 - Quadro-Resumo das verificações previstas para esforço de corte. [2]	86
Quadro 4.32 - Procedimentos para a verificação da rotura ao aço sem efeito de alavanca sob influência de um esforço de corte.	87
Quadro 4.33 - Procedimentos para a verificação da rotura ao aço com efeito de alavanca sob influência de um esforço de corte.	87

Quadro 4.34 - Procedimentos para a verificação da rotura por “ <i>pry-out</i> ” sob influência de um esforço de corte.	88
Quadro 4.35 - Procedimentos para a verificação da rotura do betão pelo bordo sob influência de um esforço de corte.	88
Quadro 4.36 - Verificações para combinação dos esforços axiais e corte sem existência de armadura no elemento de betão. [2]	90
Quadro 4.37 - Verificações para o Estado limite último de fadiga para esforços axiais.[2] ...	91
Quadro 4.38 - Verificações para o Estado limite último de fadiga para esforços de corte. [2]	92
Quadro 4.39 - Classes de importância dos edifícios. [17].....	95
Quadro 4.40 - Categorias de desempenho recomendadas para os diferentes tipos de dispositivos de ancoragem. [17].....	96
Quadro 4.41 - Coeficiente de redução α_{eq} . [2].....	96
Quadro 4.42 - Resistência à tração característica de um dispositivo aço carbono exposto à ação do fogo [N/mm ²]. [2].....	99
Quadro 4.43 - Resistência à tração característica de um dispositivo aço inoxidável exposto à ação do fogo [N/mm ²]. [2].....	99
Quadro 5.1 – Organização e constituição das ferramentas de cálculo.	105
Quadro 5.2 – Expressões que permitem determinar os valores mínimos de geometria e disposição das ancoragens, segundo <i>fib</i> . [12].....	108
Quadro 5.3 - Folhas necessárias para a verificação ao ELU (Rotura) para o esforço axial.	114
Quadro 5.4 - Folhas necessárias para a verificação ao ELU (Rotura) para o esforço de corte.	115
Quadro 5.5 - Folhas necessárias para a verificação ao ELU (Rotura) para a combinação dos esforços axial e de corte.	115
Quadro 5.6 - Folhas necessárias para a verificação ao ELU (Fadiga) para os diversos esforços.	115

Quadro 5.7 - Folhas necessárias para a verificação à ação sísmica para o esforço axial. .	115
Quadro 5.8 - Folhas necessárias para a verificação à ação sísmica para o esforço de corte.	115
Quadro 5.9 - Folhas necessárias para a verificação à ação sísmica para a combinação dos esforços axial e de corte.	115
Quadro 5.10 - Folhas necessárias para a verificação à ação do fogo para os diversos esforços.	115
Quadro 5.11 - Apresentação do menu de botões de comando presente em todas as folhas que contêm verificações.	118
Quadro 5.12 - Comparação entre os valores obtidos no relatório do ROBOT e no relatório da ferramenta de cálculo.	125
Quadro 5.13 - Comparação entre os valores obtidos no relatório da Hilti para buchas mecânicas e no relatório da ferramenta de cálculo.	130
Quadro 5.14 - Comparação entre os valores obtidos no relatório da Hilti e no relatório da ferramenta de cálculo.	134
Quadro 6.1 - Identificação dos tipos de ligação aço-betão de base existentes ao nível do piso 1.	139
Quadro 6.2 - Identificação do tipo de ligação aço-betão de fachada.	140
Quadro 6.3 - Quadro Resumo retirado da folha de cálculo 'CSA-sEA'.	142
Quadro 6.4 - Dimensões para os diferentes formatos de placa testados.	155
Quadro 6.5 - Quadro-Resumo das conclusões dos testes numéricos aos parâmetros para a ligação do tipo 1.....	157

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 6-1 - Influência da profundidade de embebedimento na altura mínima do elemento de betão.	144
Gráfico 6-2 - Influência da profundidade de embebedimento na capacidade resistente da ligação.	144
Gráfico 6-3 - Influência do espaçamento entre ancoragens na direção 2 na capacidade resistente da ligação.	146
Gráfico 6-4 - Influência do diâmetro no valor de espaçamento mínimo entre dispositivos de ancoragem.....	147
Gráfico 6-5 - Influência do diâmetro no valor mínimo da distância ao bordo da solução	148
Gráfico 6-6- Influência do diâmetro na altura mínima do elemento de betão.....	148
Gráfico 6-7 - Influência do diâmetro na capacidade resistente da ligação.....	149
Gráfico 6-8 - Influência da distância ao bordo para um mesmo número de chumbadouros na capacidade resistente da ligação.	151
Gráfico 6-9 - Influência do número de chumbadouros para a mesma distância ao bordo (c1=500mm) na capacidade resistente da ligação.	151
Gráfico 6-10 - Influência do número de chumbadouros para a mesma distância ao bordo (c1=425mm) na capacidade resistente da ligação.	152
Gráfico 6-11 - Influência do aumento da distância ao bordo na direção 1, na capacidade resistente da ligação.	153
Gráfico 6-12 - Influência da existência de placa de resistência nos chumbadouros.	154
Gráfico 6-13 - Influência da utilização de placas de resistências de formato circular.	155
Gráfico 6-14 - Influência da utilização de placas de resistências de formato quadrado.....	156

SIMBOLOGIA

Apresentam-se de seguida os símbolos e respetivas unidades referentes a todo o relatório de estágio com exceção da simbologia do capítulo 3. Essa terá o seu significado exposto juntamente às respetivas expressões. As unidades expostas obedecem ao Sistema Internacional de Unidades.

CARATERES LATINOS	UNIDADES	
a	mm	Espaçamento entre dispositivos de ancoragem exteriores, pertencentes a um grupo de ancoragens.
a_3	mm	Distância entre a superfície de betão e o ponto de restrição do dispositivo de ancoragem.
b	mm	Largura do elemento de betão.
b_{ch}	mm	Largura do canal de ancoragem.
b_{fix}	mm	Largura do dispositivo de ancoragem.
c	mm	Distância entre o bordo do elemento de betão e o eixo do dispositivo de ancoragem.
c_1	mm	Distância ao bordo na direção 1.
c_2	mm	Distância ao bordo na direção 2, sendo a direção 2 perpendicular à direção 1.
c_{cr}	mm	Valor característico da distância ao bordo de forma a assegurar a transmissão da resistência característica de um dispositivo de ancoragem individual.
c_{min}	mm	Distância ao bordo mínima admissível.
d	mm	Diâmetro do dispositivo de ancoragem; diâmetro da rosca; diâmetro do parafuso com “cabeça”.
d_f	mm	Diâmetro da folga do furo.
d_h	mm	Diâmetro da “cabeça” do dispositivo de ancoragem.
d_{nom}	mm	Diâmetro externo de um dispositivo de ancoragem.
d_s	mm	Diâmetro do varão da armadura existente no elemento de betão.
d_0	mm	Diâmetro nominal do furo.
e_1	mm	Distância entre o esforço de corte e a superfície de betão.
e_N	mm	Excentricidade resultante do esforço axial dos dispositivos de ancoragem esforçados em relação ao centro de gravidade desses mesmos dispositivos.

e_s	mm	Distância entre o eixo do esforço de corte e o eixo da armadura resistente ao esforço de corte, existente no elemento de betão.
e_v	mm	Excentricidade resultante do esforço axial dos dispositivos de ancoragem solicitado ao corte em relação ao centro de gravidade desses mesmos dispositivos.
f_{bd}	N/mm ²	Valor de cálculo da tensão de rotura da aderência da armadura existente no elemento de betão.
f_{ck}	N/mm ²	Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias de idade para um provete cilíndrico (150mm x 300mm).
f_{yk}	N/mm ²	Valor característico da tensão de cedência à tração do aço.
f_{uk}	N/mm ²	Valor característico da tensão de rotura à tração do aço.
h	mm	Espessura do elemento de betão onde é instalado o dispositivo de ancoragem.
h_{ef}	mm	Profundidade de embebedimento de um dispositivo de ancoragem.
h_{min}	mm	Espessura mínima admissível para o elemento de betão.
l_a	mm	Comprimento do “braço” associado ao efeito de alavanca do esforço de corte a atuar num dispositivo de ancoragem.
$l_{b,min}$	mm	Comprimento mínimo de ancoragem para a armadura existente no elemento de betão.
n	-	Número de dispositivos de ancoragem num grupo.
n_{re}	-	Número de ramos/ varões para a armadura existente no elemento de betão.
s	mm	Espaçamento entre os centros de dois dispositivos de ancoragem consecutivos num grupo.
$s_1 (s_2)$	mm	Espaçamento entre dispositivos de ancoragem num grupo na direção 1 (direção 2).
s_{cr}	mm	Valor característico do espaçamento que assegura a transmissão da resistência característica de um dispositivo de ancoragem.
s_{min}	mm	Espaçamento mínimo admissível entre dispositivos de ancoragem.
t_{fix}	mm	Espessura da placa de base metálica.

t_{grout}	mm	Espessura da camada argamassa não retrátil (grout).
A'_i	mm ²	Ordenada na posição do dispositivo de ancoragem i .
$A_{c,N}^0$	mm ²	Área de referência de um dispositivo de ancoragem individual, associado á rotura por cone de betão.
$A_{c,Nb}^0$	mm ²	Área de referência de um dispositivo de ancoragem individual, associado á rotura por “ <i>blow-out</i> ”.
$A_{c,V}^0$	mm ²	Área de referência de um dispositivo de ancoragem individual, associado á rotura do betão pelo bordo.
$A_{p,N}^0$	mm ²	Área de referência de um dispositivo de ancoragem individual, associado á rotura por combinação dos fenómenos de “ <i>pull-out</i> ” e cone de betão.
$A_{c,N}$	mm ²	Área realmente projetada por uma ligação, associada á rotura por cone de betão.
$A_{c,Nb}$	mm ²	Área realmente projetada por uma ligação, associada á rotura por “ <i>blow-out</i> ”.
$A_{c,V}$	mm ²	Área realmente projetada por uma ligação, associada á rotura do betão pelo bordo.
$A_{p,N}$	mm ²	Área realmente projetada por uma ligação, associado á rotura por combinação dos fenómenos de “ <i>pull-out</i> ” e cone de betão.
A_s	mm ²	Área da secção transversal.
$A_{s,re}$	mm ²	Área da secção transversal de um ramo/ varão da armadura existente no elemento de betão.
$F_{Ed} (N_{Ed}; V_{Ed}; M_{Ed}; T_{Ed})$		Valor dos esforços atuantes na ligação (esforço axial, de corte, momento fletor e momento torsor).
$F_{Ed}^a (N_{Ed}^a; V_{Ed}^a)$	N/mm ²	Valor do esforço atuante numa ancoragem de um canal de ancoragem.
$F_{Ed,i}^a (N_{Ed,i}^a; V_{Ed,i}^a)$	N/mm ²	Valor do esforço atuante numa ancoragem i de um canal de ancoragem.
$F_{Ek} (N_{Ek}; V_{Ek}; M_{Ek}; T_{Ek})$		Valor característicos dos esforços na ligação (esforço axial, de corte, momento fletor e momento torsor).
$F_{Rd} (N_{Rd}; V_{Rd})$	N/mm ²	Valor do esforço resistente de um dispositivo de ancoragem individual ou de um grupo.
$F_{Rk} (N_{Rk}; V_{Rk})$	N/mm ²	Valor caraterístico do esforço resistente de um dispositivo de ancoragem individual ou de um grupo.
N	N/mm ²	Esforço axial
N_{Ed}	N/mm ²	Resultante do esforço axial nos dispositivos de ancoragem.
$N_{Ed}^h (V_{Ed}^h)$	N/mm ²	Esforço axial atuante no dispositivo de ancoragem mais esforçado de um grupo.

$N_{Ed}^g (V_{Ed}^g)$	N/mm ²	Esforço axial atuante num grupo de dispositivos de ancoragem.
$N_{Ed,re}$	N/mm ²	Esforço axial associado à armadura existente no elemento de betão.
$N_{Ed,re}^a$	N/mm ²	Esforço axial associado à armadura existente no elemento de betão, quando são utilizados canais de ancoragem.
M	Nmm	Momento fletor.
T	Nmm	Momento torsor na placa de base metálica.
V	N/mm ²	Esforço de corte.
W_{el}	mm ³	Módulo de flexão elástico.

CARATERES GREGOS UNIDADES

γ	-	Coeficiente parcial de segurança.
σ_L	N/mm ²	Tensões no betão induzidas a esforços externos, incluindo esforços dos dispositivos de ancoragem.
σ_R	N/mm ²	Tensões no betão devido a restrições de deformação.
$\sigma_{adm.}$	N/mm ²	Tensões admissíveis para betão não-fendilhado.
τ_{Rk}	N/mm ²	Resistência característica de buchas químicas dependendo se são instaladas em betão fendilhado ou não fendilhado.
ΔT	°C	Variação de temperatura
ϕ	mm	Diâmetro nominal

GLOSSÁRIO

- “blow-out”*** A rotura por *“blow-out”* do betão consiste numa fragmentação do material na face lateral do elemento de base, ao nível da chapa de base do dispositivo de ancoragem embebida no betão. O fenómeno está associado a ligações cujos dispositivos tenham uma profundidade de embebedimento elevada e um recobrimento lateral reduzido.
- “pry-out”*** A rotura por *“pry-out”* corresponde ao destacamento do betão associado a esforços de corte.
- “pull-out”*** A rotura por *“pull-out”* consiste no arrancamento do dispositivo de ancoragem do betão. No caso de buchas químicas esta rotura dá-se na interface entre o químico de ligação e o betão.
- “script”*** Um script para AutoCAD é uma sequência de comandos que é digitada num arquivo de texto, onde são inscritas as instruções que se pretendem, que sejam executadas. Têm a função de automatizar tarefas repetitivas.
- “splitting”*** A rotura por *“splitting”* caracteriza-se por fraturas no betão ao longo de um plano que passa no eixo dos dispositivos de ancoragem.

ABREVIATURAS

a.C.	Antes de Cristo
fib	Fédération Internationale du Béton
ACI	American Concrete Institute
AutoCAD	Software da Autodesk AutoCAD 2016
CCD	Concrete Capacity Design
CEB	Comité Euro-International du Béton
CEN	Comité Européen de Normalisation
DEC	Departamento de Engenharia Civil
EC0	Eurocódigo 0: NP EN1990 2009
EC2	Eurocódigo 2: NP EN1992-1-1 2010
EC3	Eurocódigo 3: NP EN1993-1-8 2010
EC8	Eurocódigo 8: NP EN1998-1 2010
ECCS	European Convention for Constructional Steelwork
EXCEL	Microsoft Office Excel
ETA	European Technical Product Specification
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
N/A	Não aplicável
ROBOT	Software da Autodesk Robot Structural Analysis 2015
SE2P	Sociedade de Engenharia, Projetos e Planeamento, Lda.
VBA	Visual Basic for Applications

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA DE ACOLHIMENTO DO ESTÁGIO

O estágio curricular, com duração de 6 meses, decorreu durante o 2.º semestre do ano letivo de 2014/2015 na empresa SE2P – Sociedade de Engenharia, Projeto e Planeamento Lda. [SE2P] localizada no distrito do Porto, sob a orientação e supervisão do Senhor Engenheiro Adriano Lopes, Engenheiro Projetista e Sócio-Gerente da empresa.



Figura 1.1 – Logótipo da empresa. [SE2P]



A SE2P, fundada em 2006, desenvolve todas as especialidades de projeto de Engenharia Civil integrando as áreas de gestão de projetos, projetos de estruturas, de arruamento e hidráulica urbana, de redes e abastecimento de água, de redes de combate a incêndios, de redes de drenagem de águas residuais domésticas e industriais, de redes de drenagem de águas residuais pluviais, de redes de gás, de comportamento térmico, de condicionamento acústico, de segurança integrada, de segurança e saúde e ainda fiscalização e coordenação de obras.

Desenvolve a sua atividade tanto a nível nacional como internacional com maior ênfase nos Países de Língua Oficial Portuguesa.



Figura 1.2 - Países onde a SE2P desenvolve atualmente a sua atividade.



Quadro 1.1 – Projetos em que a SE2P esteve envolvida, em território nacional.

Localização	Nome e Descrição do Projeto	
Território Nacional		
	Urbanização do Poço Quente: urbanização com 101 lotes destinados à construção de moradias junto ao rio Vizela.	
	Cine Teatro António Lamoso: obras de remodelação para adaptação às novas exigências regulamentares.	

	Pavilhão Multiusos do Cevadeiro: projeto de estruturas metálicas.	
	Caminha Hotel – Design & Wine Hotel: projeto de estruturas metálicas do Hotel. O edifício altera a sua posição, numa rota circular, em função da posição do Sol.	
	Ampliação da Unidade Fabril – Bloco Gráfico (Zona Industrial da Maia): desenvolvimento dos projetos de execução.	
Entre outros projetos.		

Quadro 1.2 - Projetos em que a SE2P esteve envolvida, em território internacional.

Território Internacional		
	Edifício em Bellville (Cidade do Cabo, África do Sul): centro de comando operacional da Rede Ferroviária de Bellville.	
	Power House's (Angola): edifícios para albergar geradores elétricos de grande potência.	

	<p>Centro de acolhimento Santo António (Cabo Verde): projetos de estabilidade, abastecimento de água, drenagem de águas residuais domésticas e drenagem de águas residuais pluviais.</p>	
Entre outros projetos.		

1.2 ENQUADRAMENTO GERAL

Entende-se por ligação o ato ou efeito de ligar dois ou mais elementos. Tudo o que existe funciona com base na união de diversos elementos. Um exemplo de ligações sem as quais não é possível existir é o sistema muscular do corpo humano que permite a movimentação perfeita do corpo, sendo os ligamentos, os tecidos fibrosos responsáveis pela ligação entre os elementos do sistema esquelético. Podemos comparar os ligamentos aos dispositivos de ancoragem, da mesma forma que estes possibilitam que todo o corpo se movimente e comporte em sintonia, também os dispositivos de ancoragem além da função de unir duas partes distintas, possibilitam a transferência de esforços e que a estrutura se comporte conforme o projetado.

Existe uma variedade infinita de tipos de ligações estruturais, como por exemplo as ligações entre dois elementos de betão, entre dois elementos de madeira, um elemento metálico e outro de madeira, entre outros.



Figura 1.3 - Ligação estrutural madeira - madeira com recurso a dispositivos metálicos. [1]



Figura 1.4 - Ligação estrutural metal - metal.

[Consultado 16 Junho 2015]. Disponível na WWW: <<http://www.cdrcampos.com.br/?pag=servicos/estruturas>>.

O presente relatório, inserido na área da Engenharia Civil, incide no estudo pormenorizado de um tipo de ligação estrutural, as ligações entre aço e betão.



Figura 1.5 - Ligação aço-betão no Teleférico de Gaia. Julho 2015

As ligações estruturais aço-betão ocorrem com frequência em construções metálicas e mistas. Entende-se por construção mista uma combinação de elementos estruturais utilizando diferentes materiais, como é o exemplo de uma estrutura constituída por pilares de aço e lajes de betão armado.

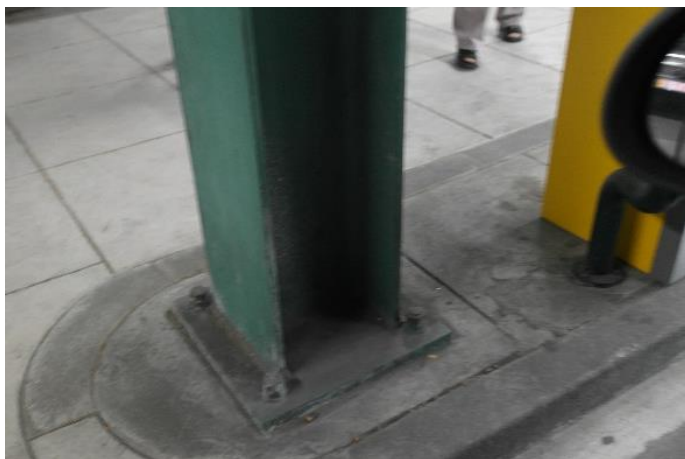


Figura 1.6 – Ligação aço-betão na estrutura metálica do parque de estacionamento da Trindade no centro da cidade do Porto. Julho 2015



Figura 1.7 - Exemplo de uma ligação estrutural aço-betão com utilização de cutelos.

[Consultado 10 Março 2015]. Disponível na WWW: <<http://www.cdrcampos.com.br/?pag=servicos/estruturas>>.

Com o aumento da construção em aço e com a utilização conjunta das técnicas de construção metálica e em betão armado, foi então possível conciliar as numerosas vantagens aliadas a cada construção individualmente. Por consequência, as respostas apresentadas aos clientes são dadas com maior rapidez, contendo soluções económicas e leves, o que atualmente é sinónimo de sucesso. O projeto de estruturas metálicas e mistas contempla não só o dimensionamento dos elementos estruturais como também o dimensionamento das suas ligações. Apesar de existirem normas que regulamentam o projeto de estruturas em betão armado, de estruturas metálicas e o projeto de estruturas mistas aço-betão, não existia nenhum documento normativo que permitisse a uniformização das soluções tendo em conta os tipos de ligação aço-betão existentes, quais as suas classificações, os métodos de dimensionamento e as verificações necessárias para cumprimento dos critérios de segurança.

1.3 OBJETIVOS DO ESTÁGIO

O estágio curricular centra-se no desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo que possibilite o dimensionamento de ligações aço-betão segundo a prEN1992-4:2013 [2], com recurso ao Microsoft Excel e a linguagem Visual Basic for Applications.

De forma a atingir este objetivo será realizada uma pesquisa sobre ligações aço-betão, envolvendo o seu dimensionamento tendo em conta a legislação em vigor e as verificações previstas na prEN1992-4:2013 [2]. Após o desenvolvimento da ferramenta de cálculo, esta será aplicada a um caso de estudo.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO

A estrutura do presente relatório de estágio é constituída por sete capítulos. No primeiro capítulo encontra-se a presente introdução onde é possível fazer uma breve apresentação da empresa de acolhimento do estágio curricular, o enquadramento geral do tema a desenvolver e quais os objetivos da frequência do estágio.

O segundo capítulo dedica-se ao estudo das ligações aço-betão. Numa primeira fase, é feita uma breve nota histórica sobre as ligações estruturais. Serão identificados os tipos de ligações estruturais existentes, realçando as ligações aço-betão. De seguida serão abordados os parâmetros relacionados com as ligações como os elementos constituintes, a direção do carregamento, os princípios de transferência de esforços, o betão como material base, os modos de rotura e o comportamento das ligações a longo prazo.

No terceiro capítulo, serão expostos os métodos de dimensionamento previstos nas normas e regulamentos utilizados atualmente.

No quarto capítulo serão apresentadas as verificações a realizar sob o domínio da pré-norma prEN1992-4:2013 [2].

O quinto capítulo traduz não só os resultados dos objetivos a atingir do presente relatório como a justificação dos dados introduzidos nas ferramentas de cálculo e o processo de programação das mesmas. Serão ainda expostos alguns métodos de validação da ferramenta de cálculo, utilizando para o efeito dados de ligações dimensionadas em projetos reais.

No sexto capítulo, será apresentado um caso de estudo onde serão aplicadas as ferramentas de cálculo.

No sétimo e último capítulo serão apresentadas as conclusões dos capítulos anteriores e serão expostas algumas propostas de desenvolvimentos futuros relacionados com o tema desenvolvido.

2 LIGAÇÕES AÇO-BETÃO

2.1 NOTA HISTÓRICA

No século I a.C., o arquiteto italiano Marcos Vitrúvio, conhecido pelo seu legado constituído por 10 volumes que serviram de inspiração a diversos textos sobre Arquitetura, Engenharia e assuntos associados, menciona soluções práticas de ligações estruturais.

Segundo Werner Fuchs [3], as ligações estruturais desempenharam um papel importantíssimo na construção do Coliseu de Roma, uma vez que foi construído em betão da época (material de qualidade inferior ao betão utilizado atualmente) e pedra no século I a.C. e ainda hoje é possível visitar em segurança o que resta da estrutura original. Os tipos de materiais/ferramentas utilizadas na construção do Coliseu foram encontrados em diversas escavações realizadas por toda a Europa o que corrobora a teoria de que na Antiguidade já era usual projetarem-se soluções caracterizadas não só pela sua grandiosidade como também pela sua segurança. Werner Fuchs [3], menciona ainda que ao longo dos anos tem sido inventada uma grande variedade de sistemas de ancoragem mas só a partir da década de 70 é que se começaram a fazer avanços significativos na área, principalmente na Europa. Questões como a estabilidade, durabilidade das construções e estética foram sempre as preocupações principais na edificação de novas estruturas.

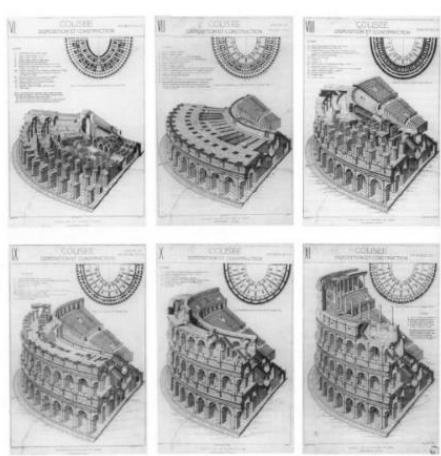


Figura 2.1 - Fases construtivas do Coliseu de Roma.

[Consultado 18 Março 2015]. Disponível na WWW: <http://www.the-colosseum.net/architecture/la_costruzione_en.htm>.

2.2 DISPOSIÇÕES GERAIS

De modo geral, as ligações entre elementos estruturais devem ser dimensionadas de forma a resistirem aos efeitos de todas as ações consideradas na análise da estrutura como um todo e no dimensionamento dos elementos individuais a serem ligados. O dimensionamento de uma ligação além de assegurar a capacidade de suporte do deslocamento relativo que é necessário para mobilizar a sua resistência, deve garantir um comportamento resistente por parte da estrutura. A resistência e a rigidez das ligações podem ser baseadas em fórmulas analíticas tendo em conta que falhas associadas à mão-de-obra têm influência na capacidade resistente de uma ligação e devem ser evitadas. No dimensionamento de ligações existe um conjunto de parâmetros que devem ser tidos em consideração como a facilidade de execução e posteriormente a facilidade de inspeção. É frequente observar-se ligações aço-betão na união entre os seguintes elementos estruturais:

- i. Pilar-fundação, onde a ligação é efetuada entre as extremidades inferiores dos pilares e a face superior das fundações.



Figura 2.2 - Ligação pilar- fundação com chumbadouros.

[Consultado 20 Março 2015]. Disponível na WWW: <<http://www.amsd.co.uk/services/steel/BaseplateDesign.php>>.

- ii. Viga-pilar, onde a ligação é efetuada entre as extremidades superiores dos pilares e as vigas nas regiões dos nós;
- iii. Viga-viga: ligação entre dois tramos de viga, uma das vigas é metálica e a outra em betão armado;



Figura 2.3 - Ligação viga metálica a viga de betão armado.

[Consultado 20 Março 2015]. Disponível na WWW:

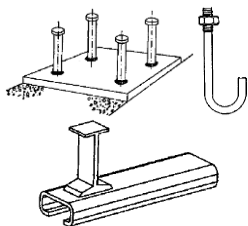
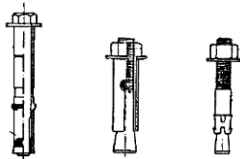
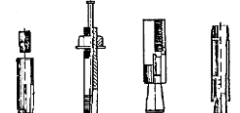
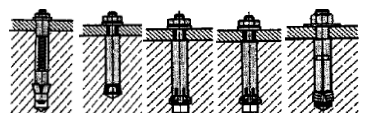
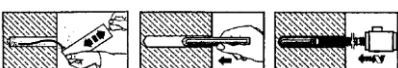
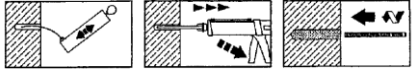
<http://www.constructalia.com/espanol/rehabilitacion_con_acero/v_tecnicas_de_fijacion_sobre_lo_existente#.VRGCDOHIJUJ>.

2.3 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DAS LIGAÇÕES AÇO-BETÃO

2.3.1 Classificação das ligações

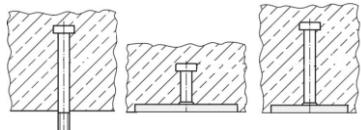
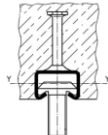
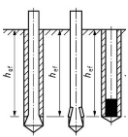
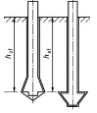
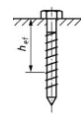
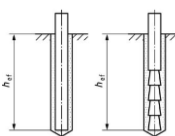
Segundo Rolf Elgehausen [4], os dispositivos de ancoragem são divididos em dois grandes tipos: as ancoragens mecânicas e ancoragens químicas.

Quadro 2.1 - Classificação dos dispositivos de ancoragem segundo Rolf Elgehausen [4].

Dispositivos de ancoragem	Ancoragens mecânicas	“Cast-in” – colocadas previamente á betonagem		
		“Post installed” - colocadas após a betonagem	Expansão por momento de aperto	
			Deformação controlada	
			“Undercut”	
	Ancoragens químicas	Por cápsula		
		Por injeção		

Apesar de a prEN1992-4:2013 [2] seguir o mesmo princípio da classificação anterior no que diz respeito aos dispositivos de ancoragem, esta apresenta uma versão mais simplificada. As ferramentas de cálculo serão desenvolvidas tendo em conta o tipo de classificação prevista no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Classificação dos dispositivos de ancoragem segundo a prEN1992-4:2013. [2]

Dispositivos de ancoragem	“Cast-in” – colocados previamente à betonagem	Chumbadouros		
		Canais de ancoragem		
	“Post-installed” – colocados após a betonagem	Buchas mecânicas	Expansão	
			“Undercut”	
			Parafusos	
		Buchas químicas	Expansão	
			“Undercut”	

2.3.2 Constituição de uma ligação aço-betão

Uma ligação aço-betão é constituída por:

- Um elemento de betão
- Um perfil metálico
- Uma placa de base metálica
- Dispositivos de ancoragem

Podendo eventualmente ter ainda entre a placa de base metálica e o elemento de betão uma camada de argamassa não retrátil e em caso de necessidade, chapas de reforço (cutelos) colocadas estrategicamente sobre a placa de base metálica para garantir a rigidez desta última.

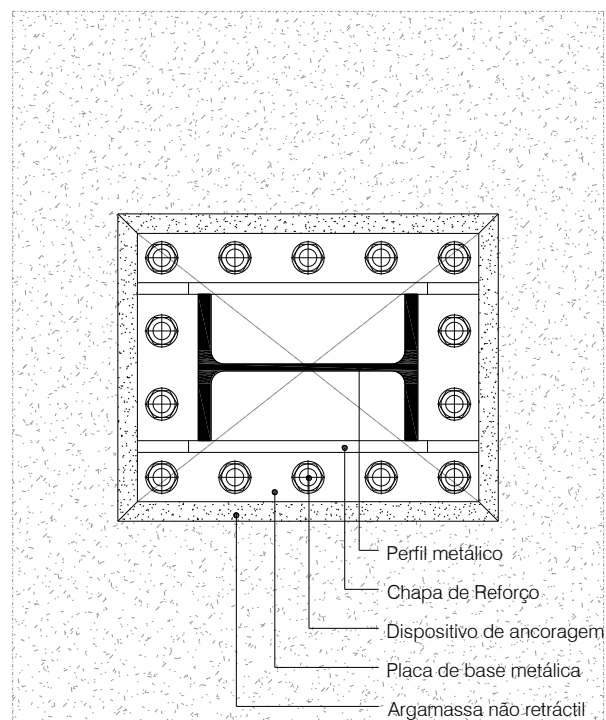


Figura 2.4 – Exemplo de constituição em planta de uma ligação aço-betão. [SE2P]

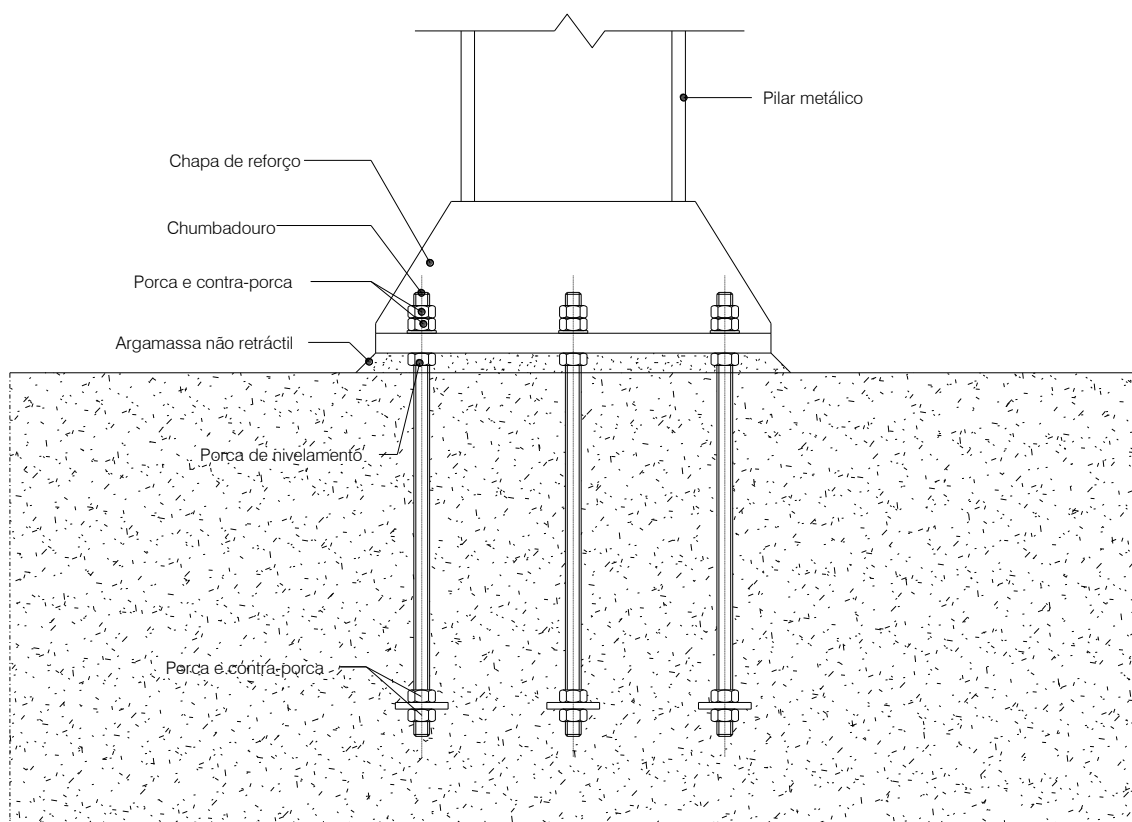


Figura 2.5 - Exemplo de constituição em corte de uma ligação aço-betão. [SE2P]

2.3.2.1 Tipos de dispositivos de ancoragem

A existência do presente subcapítulo prende-se pela necessidade de conhecer em maior pormenor os elementos para que a pré-Norma [2] define critérios de dimensionamento. É importante, elaborar esta apresentação previamente ao início do estudo detalhado do documento para que numa fase avançada a interpretação das expressões de cálculo associadas a cada modo de rotura e consequente desenvolvimento da ferramenta de cálculo seja facilitado devido à familiarização com conceitos e documentos a consultar.

2.3.2.1.1 Chumbadouros

Os chumbadouros classificam-se como dispositivos de ancoragem do tipo “cast-in” uma vez que não são mais do que varões de aço estrategicamente posicionados previamente à betonagem, podendo ser utilizada uma chapa gabarit para que estes não se desloquem durante a operação de betonagem.



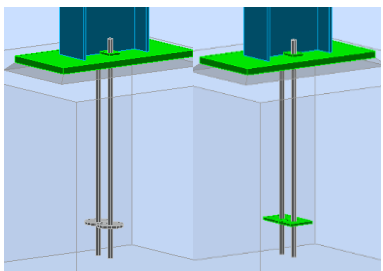
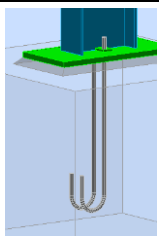
Figura 2.6 - Chapa gabarit colocada para impedir o deslocamento dos chumbadouros aquando a betonagem dos elementos. Fotografia de uma das ligações aço-betão projetadas para a ampliação de uma unidade fabril.

A gama comercial de diâmetros, utilizada correntemente na construção, pode variar entre os 6mm e os 40 mm e existem várias soluções construtivas possíveis utilizando este tipo de dispositivos de ancoragem, como é possível ver no Quadro 2.3 e no Quadro 2.4.

Quadro 2.3 - Valores de diâmetro nominais [mm] e áreas [mm²].

Dimensões	Φ [mm]	Área [mm ²]
6	6	28,27
8	8	50,27
10	10	78,54
12	12	113,10
16	16	201,06
20	20	314,16
22	22	380,13
24	24	452,39
25	25	490,87
27	27	572,56
30	30	706,86
33	33	855,30
36	36	1017,88
40	40	1256,64

Quadro 2.4 - Classificação dos tipos de chumbadouros quanto à classe de resistência.

Chumbadouros		f_{yb} [N/mm ²]	f_{ub} [N/mm ²]	Tipo de varão	Tipo de solução construtiva
Classe de resistência	4.6	240	400	Roscado	
	4.8	320	400		
	8.8	640	800		
	10.9	900	1000		
	S400	400	-	Liso	
	S500	500	-		

Nos cálculos de dimensionamento, os valores da tensão de cedência f_{yb} e da tensão de rotura f_{ub} deverão ser adotados como valores característicos. Nos chumbadouros em forma de “J” são utilizados varões lisos para facilitar o processo de dobragem dos mesmos em obra.



Figura 2.7 - Instalação de chumbadouros.
Fotografia de uma das ligações aço-betão projetadas para a ampliação de uma unidade fabril.



Figura 2.8 – Instalação de chumbadouros.
Fotografia de algumas das ligações aço-betão projetadas para a ampliação de uma unidade fabril.

2.3.2.1.2 Dispositivos de ancoragem mecânicos e químicos (Buchas)

No que diz respeito aos restantes tipos de dispositivos de ancoragem, o fabricante Hilti fornece todo o tipo de informação necessária para uma correta escolha e instalação dos mesmos. A gama dos dispositivos de ancoragem mecânicos são classificados quanto ao tipo de carga a que estão aptos a suportar, uma vez que as ligações a estudar são de carácter estrutural não se justifica apresentação de dispositivos de ancoragem para cargas médias e leves. Ainda segundo o fabricante Hilti, os dispositivos de ancoragem química podem ser de cápsula ou colocados através de um dispensador e um suporte de cartucho que injeta o químico.



Figura 2.9 – Cápsula apropriada para instalação de dispositivos de ancoragem colocados após a betonagem.

[Consultado 24 Março 2015]. Disponível na WWW: <<https://www.hilti.pt/sistemas-de-ancoragem/ampolas-qu%C3%ADmicas/r190>>.



Figura 2.10 – Químico de injeção com o porta-cartuchos e dispensador manual HDM do fabricante Hilti.

[Consultado 24 Março 2015]. Disponível na WWW: <https://www.hilti.pt/sistemas-de-ancoragem/ancoragem-qu%C3%ADmica/sc-CLS_INJECTABLE_ADHESIVE_ANCHORS>.

Os dispositivos de ancoragem mecânica e química, do fabricante Hilti, possuem manuais de aplicação que contêm todas as instruções necessárias, como o exemplo apresentado de seguida.

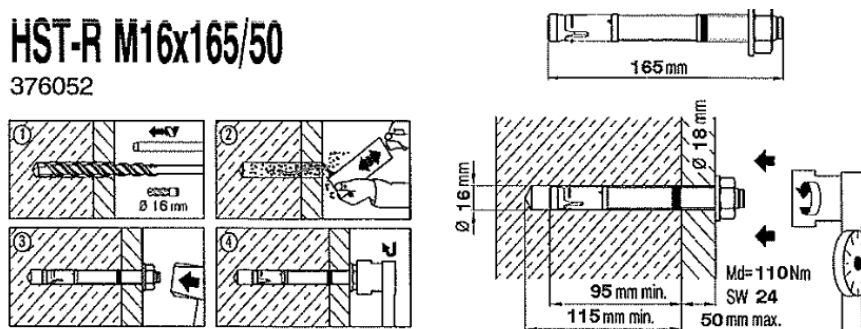


Figura 2.11 – Excerto de algumas instruções de aplicação para um dispositivo de ancoragem mecânica.

[Consultado 24 Março 2015]. Disponível na WWW: <<https://www.hilti.pt/sistemas-de-ancoragem/ancoragens-de-expans%C3%A3o/r1116>>.

2.3.2.1.3 Canais de ancoragem

Os canais de ancoragem caracterizam-se por serem, tal como os chumbadouros, do tipo “cast-in”. Estes dispositivos de ancoragem são utilizados em situação especiais como o caso de ancoragem de fachadas envidraçadas, ancoragem de elementos de betão pré-fabricados, em ancoragens de linhas aéreas em ferrovias, entre outros exemplos. A pré-Norma [2] define os critérios de dimensionamento deste tipo de dispositivos.



Figura 2.12 - Aplicação de um canal de ancoragem para fachadas envidraçadas. Edifício Metropolitan Warsaw na Polónia.[5]



Figura 2.13 - Aplicação de um canal de ancoragem em ligações de elementos de betão pré-fabricados. [5]



Figura 2.14 - Aplicação de um canal de ancoragem em linhas aéreas de ferrovias. [5]

2.3.3 Betão como material base e sua condição

No dimensionamento de ligações aço-betão, um dos parâmetros mais importantes é a condição do betão. Entenda-se por condição do betão a caracterização do estado físico do betão na zona onde será realizada a ligação. A maioria dos elementos de betão são dimensionados assumindo que o betão se encontra fendilhado para Estados limite de utilização uma vez que a presença de fendilhação diminui a capacidade resistente do elemento de betão. Em estruturas de betão a fendilhação pode ocorrer devido a motivos associados aos esforços internos que não são considerados no dimensionamento das estruturas e a deformações impostas como as variações de temperatura, assentamentos de apoio, entre outros.

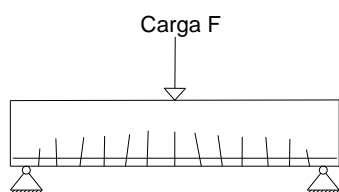


Figura 2.15 - Fendilhação provocada por uma carga F .



Figura 2.16 - Fendilhação provocada por uma variação de temperatura.

Segundo Rolf Eligehausen [4], no Estado limite de utilização a largura das fendas deve ser limitada por valores aceitáveis para que a fendilhação não prejudique o funcionamento correto ou a durabilidade da estrutura, sendo que esses mesmos valores dependem diretamente da classe de exposição ambiental do betão.

Quadro 2.5 - Classificação das classes de exposição em função das condições ambientais, de acordo com a EN 206-1. [6]

Designação da classe	Descrição do ambiente
1 Nenhum risco de corrosão ou ataque	
X0	Para betão sem armadura ou elementos metálicos embebidos: todas as exposições exceto em situação de gelo/ degelo, abrasão ou ataque químico. Para betão com armadura ou elementos metálicos embebidos: muito seco.
2 Corrosão induzida por carbonatação	
XC1	Seco ou permanentemente húmido
XC2	Húmido, raramente seco
XC3	Humidade moderada
XC4	Alternadamente húmido e seco
3 Corrosão induzida por cloretos	
XD1	Humidade moderada
XD2	Húmido, raramente seco
XD3	Alternadamente húmido e seco
4 Corrosão induzida por cloretos presentes na água do mar	
XS1	Exposto ao sal transportado pelo ar mas não em contacto direto com a água do mar
XS2	Permanentemente submerso
XS3	Zonas sujeitas aos efeitos das marés, da rebentação e da neblina marítima
5 Ataque gelo/ degelo	
XF1	Saturação moderada em água, sem produto descongelante
XF2	Saturação moderada em água, com produto descongelante
XF3	Saturação elevada em água
XF4	Saturação elevada em água, com produtos descongelantes ou com água do mar
6 Ataque químico	
XA1	Ambiente químico ligeiramente agressivo, de acordo com a EN206-1
XA2	Ambiente químico moderadamente agressivo, de acordo com a EN206-1
XA3	Ambiente químico altamente agressivo, de acordo com a EN206-1

Quadro 2.6 - Valores recomendados de $w_{m\acute{a}x}$ [mm]. [6]

Classe de Exposição	Elementos de betão armado e elementos de betão pré-esforçado com armaduras não-aderentes	Elementos de betão pré-esforçado com armaduras aderentes
	Combinação de ações quase-permanente	Combinação de ações frequentes
X0, XC1	0,4	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2
XD1, XS1, XS2, XS3		Descompressão
NOTA 1: Para as classes de exposição X0 e XC1, a largura de fendas não tem influência sobre a durabilidade e este limite é estabelecido para dar em geral um aspeto aceitável. Na ausência de especificações no que respeita ao aspeto, este limite poderá ser reduzido.		
NOTA 2: Para estas classes de exposição deverá verificar-se, ainda, a descompressão para a combinação quase-permanente de ações.		

2.3.4 Tipos de solicitação

As ligações aço-betão e os seus dispositivos de ancoragem podem ser solicitados por esforços de tração ou compressão, esforços de corte nas duas direções, momentos fletores nas duas direções e esforços combinados (tração ou compressão, corte e momento fletor). Ao nível do dimensionamento, a existência esforços de compressão e de momento fletor reflete-se na distribuição dos esforços e nas áreas comprimidas e tracionadas da ligação, ou seja, não são contabilizados de forma direta nas expressões de cálculo dos esforços resistentes.

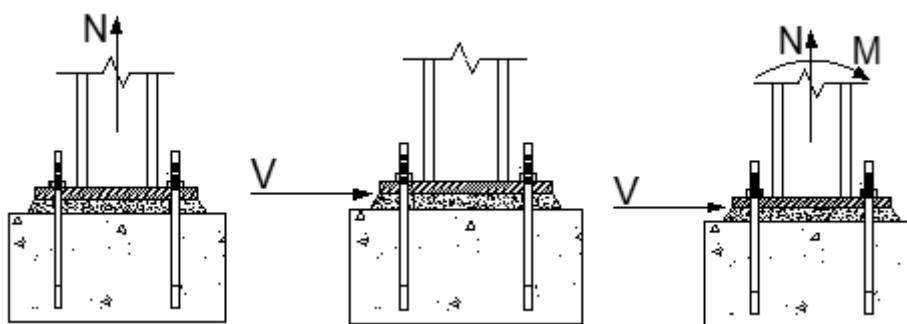
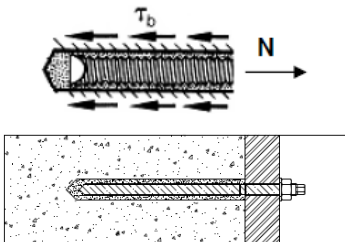
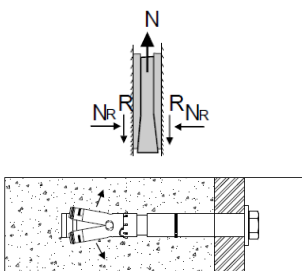
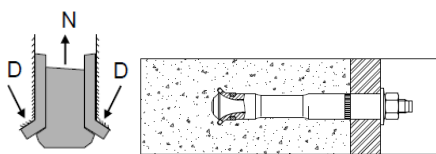


Figura 2.17 - Exemplos de algumas das solicitações de esforços possíveis em dispositivos de ancoragem.

2.3.5 Princípios de transferência de esforços

Os princípios de transferência traduzem as três formas distintas que um determinado dispositivo de ancoragem pode transferir os esforços ao betão.

Quadro 2.7 - Princípios de transferência de esforços.

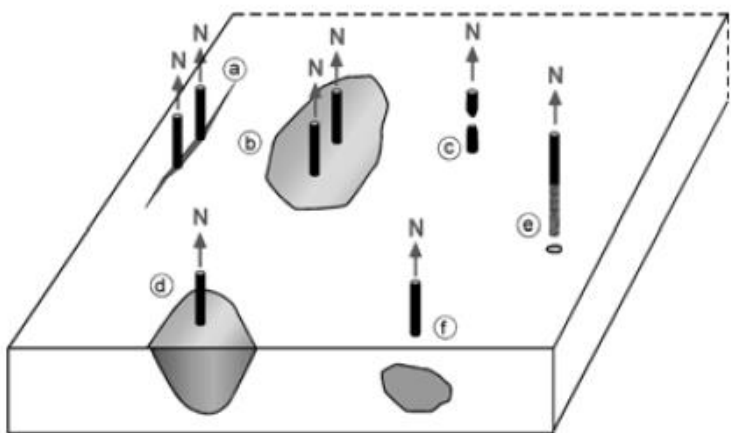
Princípios de transferência de esforços	
<p>Aderência: neste princípio a transferência de esforços ocorre ao longo de toda a profundidade de embebedimento do dispositivo de ancoragem no betão. A tensão exercida pelo dispositivo no betão depende do tipo de químico a ser utilizado, das condições de furação e consequente limpeza, das condições ambientais (temperatura, presença de humidade, etc.).</p>	
<p>Expansão: os dispositivos de ancoragem mecânica estão associados ao fenómeno de expansão da sua extremidade inferior que origina tensões normais, provocando assim a formação do cone de betão quando o esforço transferido excede o valor de tensão admissível.</p>	
<p>Forma: o princípio de forma transfere o esforço aplicado através da configuração que cria no interior do betão. A este princípio estão associados dispositivos de ancoragem como os chumbadouros e buchas mecânicas.</p>	

2.3.6 Modos de rotura

Enquanto os modos de rotura associados aos dispositivos de ancoragem (aço) ocorrem quando estes se encontram sujeitos a cargas dinâmicas e a sua resistência última é atingida, os modos de rotura associados ao betão ocorrem quando a resistência à tração é excedida. O esforço de tração exercido provoca a formação de fendas no betão originando o cone de rotura.

Ao longo do tempo, vários especialistas têm dedicado o seu tempo a estudar os fenômenos que levam à rotura de uma ligação desta natureza. Apesar dos inúmeros estudos, todos têm alcançado conclusões similares ao nível da classificação dos modos de rotura. A classificação apresentada e utilizada no presente relatório baseia-se nas conclusões expostas nos vários estudos de Rolf Elgehausen. [7].

Quadro 2.8 - Modos de rotura associados ao esforço axial segundo Rolf Elgehausen [7].

Modos de rotura associados ao esforço axial		
a	Rotura por “splitting”	
b	Rotura por cone de betão	
c	Rotura do aço	
d	Rotura do betão pelo bordo	
e	Rotura por “pull-out”	
f	Rotura por “blow-out”	

Quadro 2.9 - Modos de rotura associados ao esforço de corte segundo Rolf Elgehausen [7].

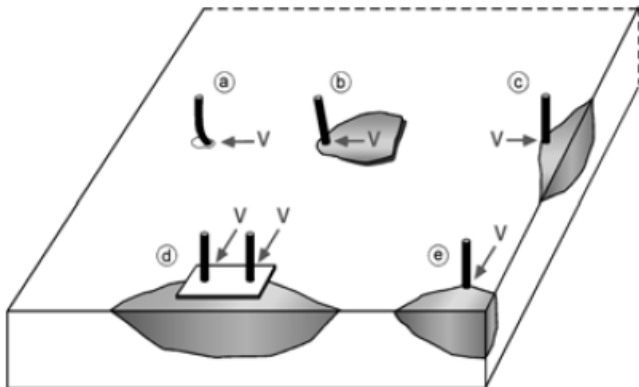
Modos de rotura associados ao esforço de corte		
a	Rotura do aço	
b	Rotura por “pry-out”	
c	Rotura do betão pelo bordo (dispositivo de ancoragem individual)	
d	Rotura do betão pelo bordo (grupo de dispositivos de ancoragem)	
e	Rotura do betão pelo canto	



Figura 2.18 - Rotura do aço.
[Consultado 26 Março 2015]. Disponível na WWW:<https://www.osha.gov/doc/engineering/2012_r_04.html>.

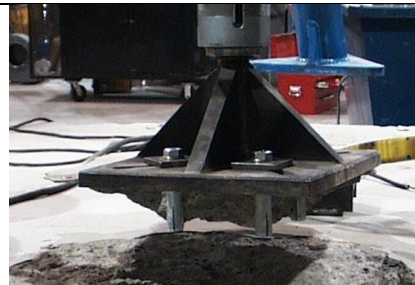


Figura 2.19 - Rotura do betão sob a placa de base metálica.
[Consultado 26 Março 2015]. Disponível na WWW:<<https://www.hilti.ca/post-installed-anchor-testing>>.



Figura 2.20 - Rotura betão pelo bordo.
[Consultado 28 Março 2015]. Disponível na WWW:<http://nees.org/data/get/nees/home/NEES-2009-0725.groups/Experiment-3/Trial-4/Documentation/.Generated_Pics/display_1780840_Failure%20Cone%20Elevated%20View%205.JPG>.



Figura 2.21 - Rotura por cone de betão.
[Consultado 28 Março 2015].Disponível na WWW:<<http://seblog.strongtie.com/category/concrete/>>.



Figura 2.22 - Rotura por "splitting".
[Consultado 28 Março 2015]. Disponível na WWW:<[http://www.thebreakthroughgroup.com.au/concrete-solutions/concret-and-rock-\"splitting\".php](http://www.thebreakthroughgroup.com.au/concrete-solutions/concret-and-rock-\)>.



Figura 2.23 - Rotura do betão junto a dois bordos.
[Consultado 28 Março 2015]. Disponível na WWW:<http://nees.org/data/get/nees/home/NEES-2009-0725.groups/Experiment-3/Trial-3/Documentation/.Generated_Pics/display_1780804_Failure%20Cone%20Side%20View%202.JPG>.

Segundo o Engenheiro Tiago Abecasis, no Seminário Internacional sobre Ligações Estruturais [8] os fatores que condicionam a capacidade resistente de uma ligação deste tipo e que podem influenciar a rapidez com que ocorre um modo de rotura são:

- Diâmetro e capacidade resistente dos dispositivos de ancoragem;
- Profundidade de embebedimento hef ;
- Capacidade resistente e espessura do material base;
- Distância dos dispositivos de ancoragem ao bordo;
- Distância entre dispositivos de ancoragem;
- Ambientais como a corrosão, a temperatura, etc.

2.3.7 Comportamento das ligações a longo prazo

A rotura de uma ligação pode conduzir a desastrosas consequências quer do ponto de vista social (perda de vidas humanas) quer do ponto de vista económico, daí a importância das soluções utilizadas traduzirem requisitos de satisfação no que diz respeito à ligação entre os dois materiais.



Figura 2.24 - Estrutura metálica em San Marcos, Texas, antes do colapso das suas ligações estruturais aço-betão.

[Consultado 26 Março 2015]. Disponível na WWW: <https://www.osha.gov/doc/engineering/2012_r_04.html>.



Figura 2.25 - Estrutura metálica em San Marcos, Texas, após o colapso das suas ligações estruturais aço-betão.

[Consultado 26 Março 2015]. Disponível na WWW: <https://www.osha.gov/doc/engineering/2012_r_04.html>.

2.3.7.1 Cuidados na instalação dos dispositivos

Um dispositivo de ancoragem ao ser instalado deve seguir procedimentos rigorosos e controlados, pois os erros que possam ocorrer influenciam diretamente a capacidade de fixação do elemento. As ações descritas de seguida descrevem o que se deve evitar no processo de instalação deste tipo de dispositivos:

- Uso de brocas com diâmetro superior ao do dispositivo de ancoragem, com exceção dos dispositivos de ancoragem química;
- Furação com martelo, quando se deve proceder à furação unicamente por rotação;
- Furo não executado com os devidos ângulos, relativamente à superfície;
- Furo não limpo;
- Insuficiente embebimento do dispositivo de ancoragem no material base;
- Insuficiente profundidade do furo, impedindo o aperto da peça a ser fixada no material base;
- Aperto excessivo do dispositivo de ancoragem;
- Distância insuficiente entre dispositivos de ancoragem;
- Distância insuficiente aos bordos da peça.

2.3.7.2 Comportamento a fenómenos de corrosão

A corrosão é um processo que afeta os metais expostos a condições atmosféricas adversas à sua composição e é esperada que ocorra quando o material, a proteção ou o dimensionamento de um determinado componente metálico não coincide com o expectável. A corrosão é influenciada pela humidade, temperatura, salinidade, poluição industrial e corrosão galvânica.



Figura 2.26 - Exemplos de corrosão em dispositivos de ancoragem.

[Consultado 13 Abril 2015]. Disponível na WWW: <<http://www.thomasnet.com/articles/hardware/rust-removing>; <http://www.rustbullet.com/projects/wind-secure-turbine-nuts-and-bolts-projects>; <http://schaefer-inc.com/crowd-goes-wild-keeping-bleachers-safe-fans/>>.

O ataque por corrosão a um dispositivo de ancoragem não é uniforme, distinguindo-se em três zonas assinaladas na figura seguinte.

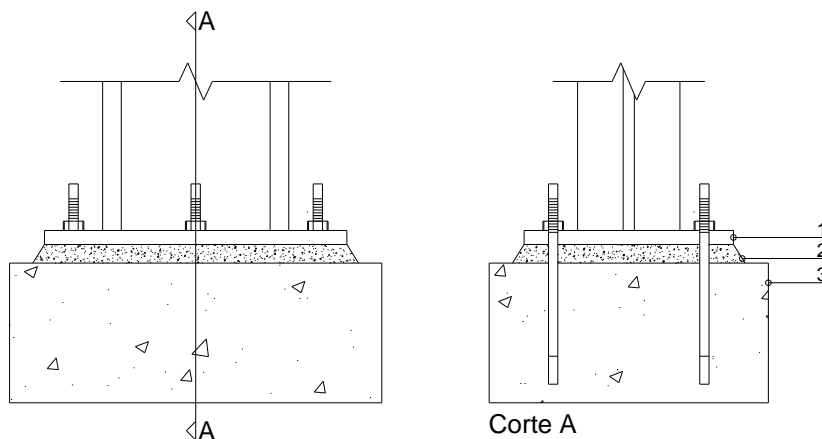


Figura 2.27 – Identificação das zonas de ataque por corrosão.

Quadro 2.10 - Causas da ocorrência da corrosão considerando as diferentes zonas.

Causas para ocorrência de corrosão	
1. Chapa de base metálica	Capacidade de absorção ou acumulação de humidade do elemento a ligar.
	Existência de fendas ou vazios que permitem a penetração e acumulação de humidades e substâncias agressivas.
2. Argamassa não retrátil	Presença de água por condensação (isolamento térmico).
3. Betão	Presença prolongada de água por condensação.
	Rápida carbonatação da face interna do furo.
	Penetração da humidade e substâncias agressivas.
	A própria composição da argamassa que contém substâncias agressivas.

Para que as ligações dimensionadas não sofram com este processo e de forma a prevenir a sua ocorrência podem-se utilizar dois tipos de proteção distintos:

- i. Proteção ativa à corrosão: atua diretamente nos fatores que influenciam a reação ao processo, por exemplo a separação galvânica, resistência dos materiais e proteção catódica.
- ii. Proteção passiva à corrosão: previne a corrosão desacelerando o processo através do isolamento do metal com a aplicação de revestimentos metálico ou não metálicos.



Figura 2.28 - Corrosão em dispositivos de ancoragem Hilti em aço carbono revestidos de zinco. [9]



Figura 2.29 - Corrosão por picada em dispositivos de ancoragem Hilti em aço inoxidável. [9]

O fabricante Hilti permite através do conhecimento das condições ambientais e do tipo de ancoragem identificar o tipo de proteção a utilizar.

2.3.7.3 Comportamento ao fenómeno de fadiga

Em ligações do tipo aço-betão, o efeito de fadiga afeta diretamente o dispositivo de ancoragem (aço). Se um dispositivo de ancoragem está sujeito a uma carga que varia ao longo do tempo, a rotura desse mesmo dispositivo pode ocorrer após um determinado número de ciclos de carga devido à perda de força. A qualidade do aço tem influência na força associada às cargas cíclicas.

Como exemplos de cargas associadas ao fenómeno de fadiga podemos diferenciar dois grupos principais:

- i. Cargas vibratórias de baixa amplitude com ocorrência frequente (ventiladores, maquinaria de produção, etc);
- ii. Cargas repetitivas em estruturas sobrecarregadas com ocorrência frequente (gruas, elevadores, etc).

A rotura de um dispositivo de ancoragem devido ao fenómeno de fadiga pode ser dividida em quatro fases, sabendo que quanto maior for o número de ciclos maior será a largura da fenda.

- 1) Aparecimento da fendilhação;
- 2) Aumento da dimensão das fendas;
- 3) Propagação da fendilhação;
- 4) Rotura final.

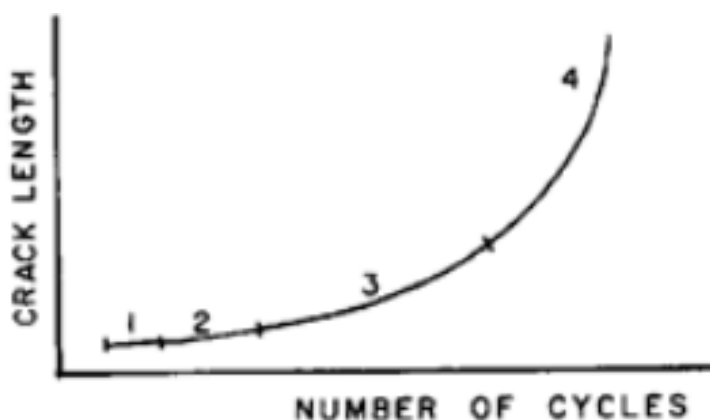


Figura 2.30 - Relação entre largura da fenda e número de ciclos.

[Consultado 13 Abril 2015]. Disponível na WWW: <<http://www.docstoc.com/docs/33423589/Fatigue-Failure-of-Bolted-Connections>>



Figura 2.31 - Dispositivo de ancoragem com superfície de rotura associada ao fenómeno de fadiga.

[Consultado 14 Abril 2015]. Disponível na WWW: <<http://www.accutektesting.com/testing-services/consulting-services/failure-evaluation>>

2.3.7.4 Comportamento à ação do fogo

Segundo Rolf Elgehausen [10], a capacidade resistente ao fogo de um dispositivo de ancoragem depende da duração de exposição ao fogo, do tipo de aço e do seu diâmetro. A Figura 2.32 apresenta os resultados de mais de 300 testes realizados em diferentes tipos e tamanhos de dispositivos de ancoragem estando estes instalados em betão fendilhado ou não fendilhado.

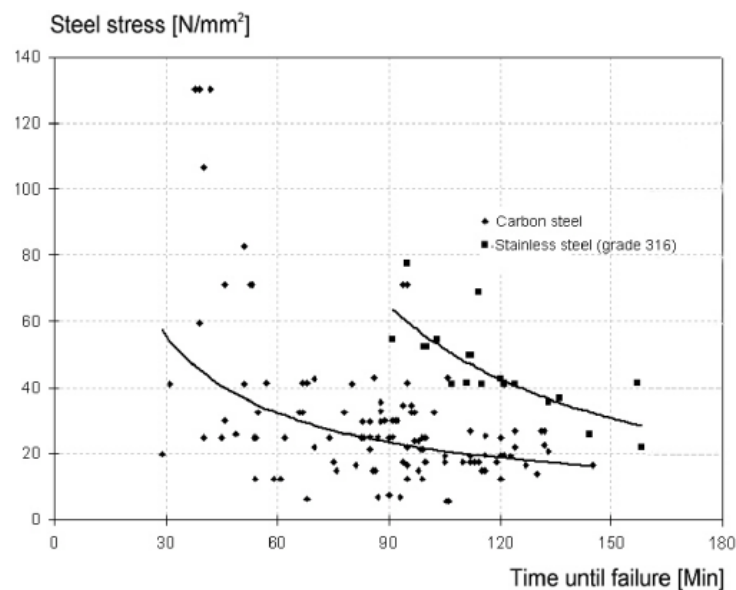


Figura 2.32 - Relação entre tensão do aço [N/mm²] e o tempo até à rotura [min]. [8]

As curvas representam o comportamento médio dos dispositivos de ancoragem, isto é, quanto maior for o tempo de exposição ao fogo menor será a tensão final do aço. Sendo que um dispositivo de ancoragem de aço inoxidável possui maior capacidade resistente à ação do fogo, isto é, o tempo de rotura é superior ao do aço carbono.

3 NORMAS DE DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES AÇO-BETÃO

3.1 EVOLUÇÃO DOS ESTUDOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS

Segundo Joel Martins em [11], na década de 70 nos Estados Unidos da América um fabricante de elementos utilizados em ancoragens realizou uma série de estudos teóricos e experimentais desenvolvendo assim o primeiro método de dimensionamento de dispositivos para aplicação em betão não fendilhado. O método pressupõe que para dispositivos em que se espere a rotura do betão, a resistência à tração seja calculada assumindo que a tensão resistente máxima de tração do betão está distribuída numa superfície com forma cónica, devido aos resultados obtidos em ensaios experimentais que revelaram que o betão rompido tinha a forma de um cone. Posteriormente, no método do ACI (1985) considerou-se que a superfície de rotura do cone de betão possuía uma inclinação de 45° .

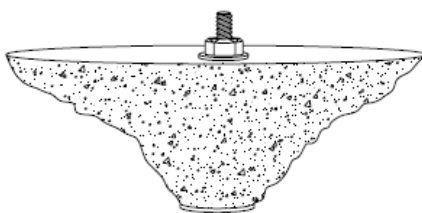


Figura 3.1 - Cone de betão. Ensaio de tração resultante em rotura do elemento de betão. [11]

Já na década de 80, começam-se a realizar os primeiros ensaios teóricos e experimentais em ancoragens na Europa. Destes ensaios, realizados na Alemanha, aparecem novos métodos como o método “K”.

3.1.1 Método do Cone previsto em ACI 349 (1985)

O método do Cone de terá sido desenvolvido por Cannon et al. [11] com base em ensaios limitados e assume que no cone de betão se forma um ângulo no valor de 45° entre a superfície de rotura e o eixo do dispositivo de ancoragem. Assume também que o esforço de tração no betão é proporcional à raiz quadrada da sua resistência à compressão atuando numa superfície proporcional ao quadrado da profundidade de embebimento.

$$N_{R,c}^0 = 0,96 \times \sqrt{f_c} \times h_{ef}^2 \times \left(1 + \frac{d_h}{h_{ef}}\right) \quad [N] \quad (3.1)$$

$N_{R,c}^0$ – Resistência característica à rotura do cone de betão não influenciada pela distância ao bordo ou espaçamento entre chumbadouros.

f_c – Resistência do betão à compressão [MPa]

d_h . Diâmetro da cabeça do chumbadouro [mm]

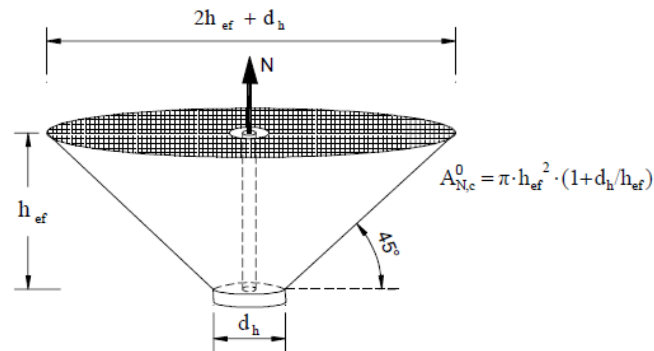


Figura 3.2 - Cone de betão idealizado no método do Cone do ACI 349. [11]

A influência da distância aos bordos e o espaçamento entre os dispositivos de ancoragem refletem-se na área de rotura.

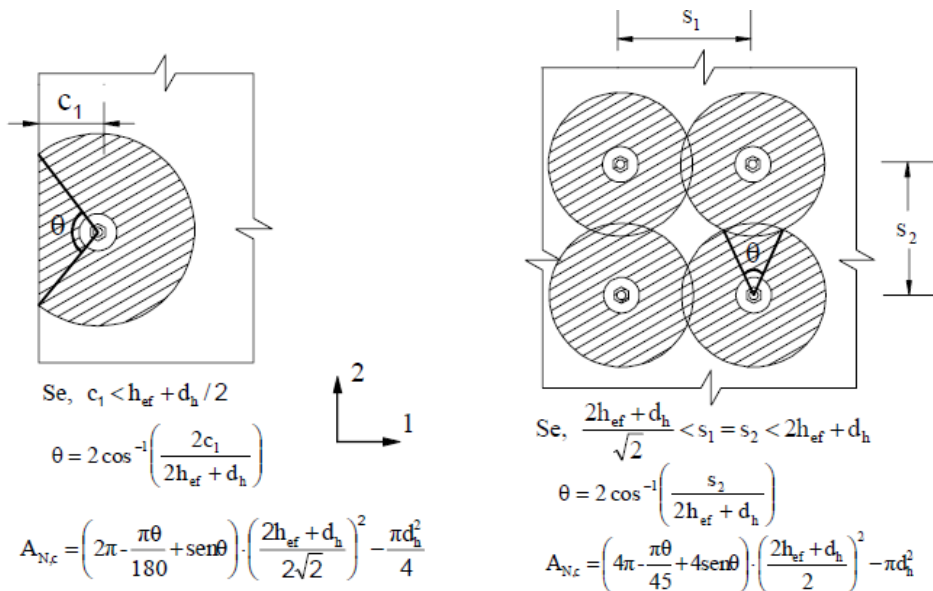


Figura 3.3 – Exemplos de determinação da área de referência efetiva para o cálculo da carga de rotura pelo Método do Cone do ACI 349. Dispositivo de ancoragem próximo ao bordo (esquerda) e dispositivos de ancoragem pouco espaçados (direita). [11]

3.1.2 Método “K” (Eligehausen, Fuchs, Mayer, Rehm e Malle, 1987/1988)

O método “K” traduz a rotura do cone de betão assumindo uma inclinação de 35° na superfície de rotura. A tensão de tração do betão atingida nos modos de rotura diminui numa proporção de $1/h_{ef}^{0,5}$ tendo em conta o tamanho do efeito. O método considera a influência dos bordos, o espaçamento, a desigualdade no carregamento num grupo de vários dispositivos de ancoragem, a fendilhação e o destacamento do betão.

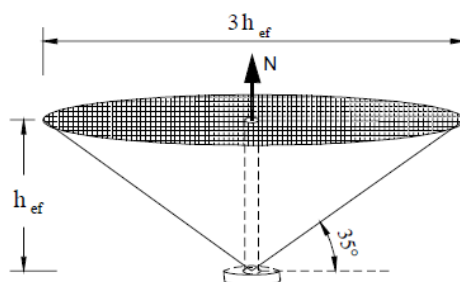


Figura 3.4 - Cone de betão idealizado no método "K". [11]

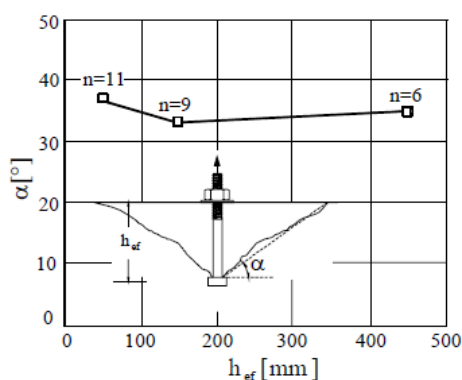


Figura 3.5 - Ângulo α em graus, do cone de rotura em função da profundidade de embebição h_{ef} (mm). [3]

O cálculo da resistência á rotura do betão é dado pela seguinte equação:

$$N_{R,c} = (K_{c1} \times K_{c2}) \times (K_{s1} \times K_{s2}) \times (K_{ec1} \times K_{ec2}) \times N_{R,c}^0 \quad [N] \quad (3.2)$$

$N_{R,c}^0$ – Resistência à rotura de um dispositivo de ancoragem, sem influência dos espaçamentos ou dos bordos do elemento em betão.

$$N_{R,c}^0 = 17 \times \sqrt{f_c} \times h_{ef}^{1,5} \quad [N] \quad (3.3)$$

K_c – Fator que considera o efeito da distância ao bordo do elemento em betão.

$$K_{ci} = 0,3 + 0,7 \times \frac{c_i}{1,5h_{ef}} \leq 1 \text{ com } i = 1 \text{ ou } 2, \text{ dependendo da direção do bordo} \quad (3.4)$$

K_s – Fator que considera o espaçamento dos dispositivos de ancoragem.

$$K_s = 1 + \frac{s_i}{3h_{ef}} \leq n_i \quad (3.5)$$

{ com } i = 1 \text{ ou } 2, \text{ dependendo da direção do espaçamento considerado}
{ } n_i \text{ é número de dispositivos de ancoragem alinhados na direção } i

K_{ec} – Fator que considera o efeito do grupo, quando cargas diferentes de tração atuam sobre cada dispositivo de ancoragem.

Neste caso, deve ser considerado que a resultante das forças de tração (N_g) tem uma excentricidade (e_N) em relação ao centro de gravidade do grupo de dispositivos de ancoragem.

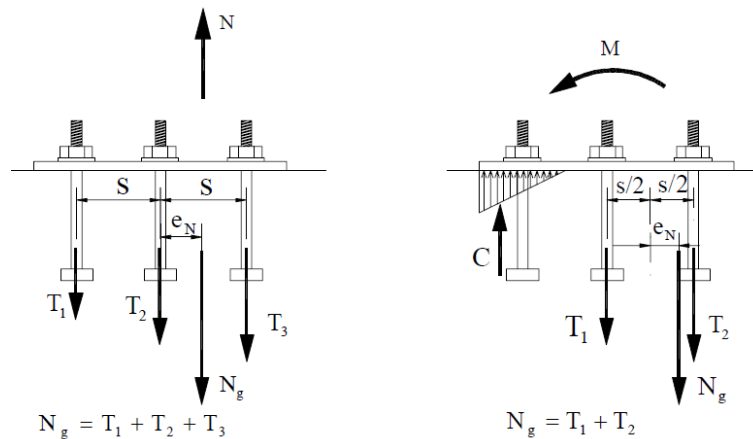


Figura 3.6 - Dispositivos de ancoragens com excentricidade na carga resultante, exemplo com todos os dispositivos de ancoragem tracionados (esquerda) e com apenas dois dispositivos tracionados (direita). [11]

$$K_{eci} = \frac{1}{1 + \frac{2e_{Ni}}{3h_{ef}}} \leq 1 \quad (3.6)$$

com $i = 1$ ou 2 , dependendo da direção da excentricidade considerada

3.1.3 Método de Bode e Roik (1987)

Este método expõe os resultados de 100 testes com dispositivos de ancoragem com profundidades de embebedimento entre os 40 e os 140 mm em elementos de betão cuja resistência à data dos ensaios variava entre os 17 e 38 MPa, tendo em conta o posicionamento dos dispositivos de ancoragem e o diâmetro da sua cabeça (d_h).

$$N_{R,c} = N_{R,c}^0 \times \Psi_{s,Nc} \times \Psi_{c,Nc} \quad [N] \quad (3.7)$$

$N_{R,c}^0$ – Resistência à rotura de um dispositivo de ancoragem sem influência do bordo ou espaçamento.

$$N_{R,c}^0 = 11,89 \times \sqrt{f_c} \times h_{ef}^{1,5} \times (1 + d_h/h_{ef}) \quad [N] \quad (3.8)$$

$\Psi_{s,Nc}$ – Fator que considera o espaçamento dos dispositivos de ancoragem.

$$\Psi_{s,Nc} = 1 + \frac{s(n-1)}{4h_{ef}}, \text{ sendo } n \text{ o número de dispositivos de ancoragem} \quad (3.9)$$

$\Psi_{c,Nc}$ – Fator que considera o efeito da distância do dispositivo de ancoragem ao bordo.

$$\Psi_{c,Nc} = \frac{c}{c_{cr}} \leq 1, \text{ sendo } c_{cr} \text{ a distância crítica ao bordo} \quad (3.10)$$

$$c_{cr} \begin{cases} 1,5h_{ef} & \text{se um dos bordos estiver a uma distância inferior a esse valor crítico} \\ 2h_{ef} & \text{se duas ou mais bordas estiverem a uma distância inferior} \end{cases} \quad (3.11)$$

3.1.4 Método “CCD” (Fuchs, Elgehausen e Breen, 1995)

Este método baseou-se nos princípios expostos pelos métodos do cone ACI 349 e “K”, com a particularidade do modelo de rotura ter a forma de pirâmide com faces inclinadas de 35°.

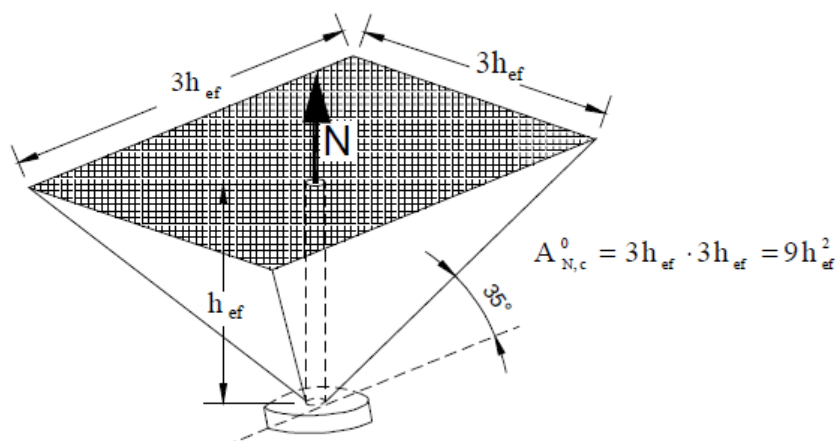


Figura 3.7 – Pirâmide de betão idealizada no método “CCD”. [11]

A superfície de rotura idealizada, permite o cálculo da área efetiva de forma mais simples que o método do cone do ACI 349, por serem utilizados quadriláteros.

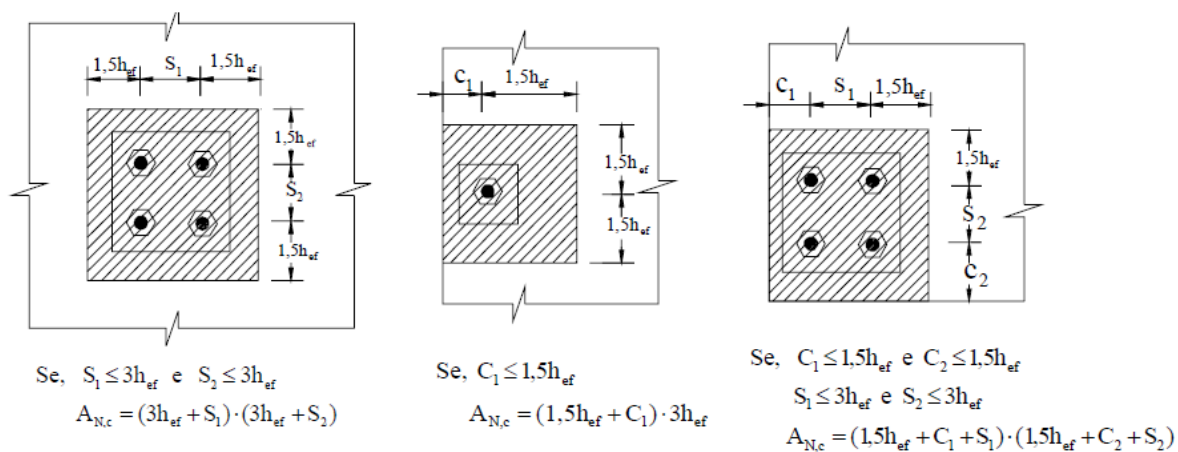


Figura 3.8 - Exemplos de determinação da área de referência efetiva para o cálculo da carga de rotura pelo Método do “CCD”. [13]

O cálculo da resistência à rotura é dado pela seguinte equação:

$$N_{R,c} = \frac{A_{N,c}}{A_{N,c}^0} \times N_{R,c}^0 \times \Psi_{c,Nc} \times \Psi_{ec,Nc} \quad [N] \quad (3.12)$$

$N_{R,c}^0$ – Resistência à rotura de um único dispositivo de ancoragem, sem influência do bordo ou espaçamento.

$A_{N,c}^0$ – Área de referência projetada na superfície de rotura para um único dispositivo de ancoragem, com espaçamento e distância ao bordo com valores superiores aos críticos. (Figura 3.7)

$A_{N,c}$ – Área de referência efetiva para um ou mais dispositivos de ancoragem. (Figura 3.8)

$\Psi_{c,Nc}$ – Fator que considera a influência do bordo sobre a carga de rotura.

$$\Psi_{c,Nc} = 0,7 + 0,3 \times \frac{c_{min}}{1,5h_{ef}} \leq 1 \quad (3.13)$$

c_{min} – Distância mínima ao bordo livre. [mm]

$\Psi_{ec,Nc}$ – Fator que considera o efeito de grupo, quando cargas diferentes de tração atuam sobre cada chumbadouro.

$$\Psi_{ec,Nc} = \frac{1}{1 + 2e_N/3h_{ef}} \leq 1 \quad (3.14)$$

Caso exista excentricidade da carga resultante em duas direções diferentes, o produto dos fatores $\Psi_{ec,Nc}$, para cada direção, deve ser utilizado na equação 3.12.

3.1.5 Guia de dimensionamento do “CEB/ fib” (1997/ 2011)

Este documento apresenta vários diagramas que permitem um dimensionamento rápido e claro para uma vasta gama de soluções de dispositivos de ancoragem. Sendo possível realizar o dimensionamento tendo em conta uma análise elástica ou plástica da ligação.

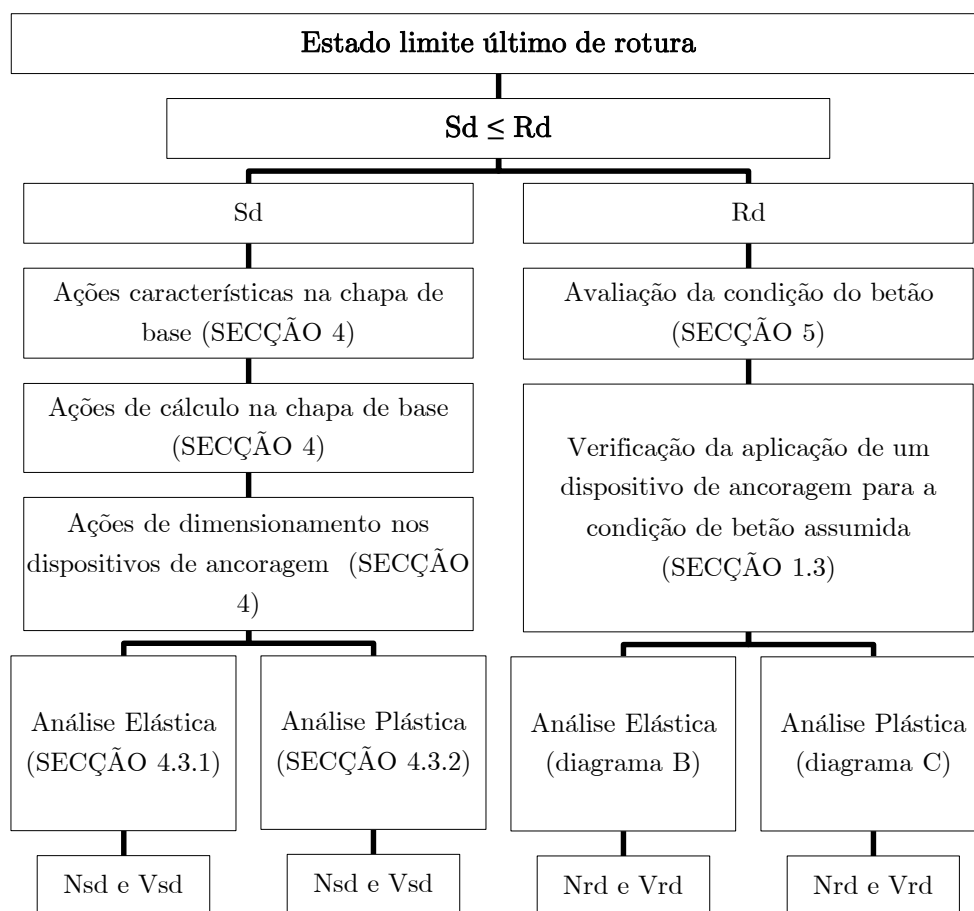


Figura 3.9 - Processo de dimensionamento para o Estado limite último de rotura, segundo *fib* [12].

O documento prevê ainda o dimensionamento dos dispositivos de ancoragem tendo em conta o Estado limite de utilização, a ação da fadiga, a ação sísmica e a ação do fogo.

3.2 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE ANCORAGEM

Atualmente, o dimensionamento de ligações aço-betão é realizado com o apoio de duas normas técnicas europeias:

- (1) Anexo C da ETAG 001 para dispositivos de ancoragem metálicos para betão. [13]
- (2) EOTA TR029 para dispositivos de ancoragem química. [14]

3.2.1 Anexo C – ETAG 001

O Anexo C da ETAG 001 [13] permite o dimensionamento, através do Estado limite último de rotura, de dispositivos de ancoragem metálicos utilizados em betão através de 3 métodos distintos. O primeiro, método A, consiste num conjunto de verificações para os esforços axial e de corte solicitados na ligação. Os métodos B e C consistem numa abordagem simplificada que envolvem apenas a determinação de uma força resistente de dimensionamento, apenas para os dispositivos de ancoragem mais esforçados.

3.2.1.1 Considerações gerais

O dimensionamento dos dispositivos de ancoragem deve cumprir os requisitos da NP EN1990 [15]. Para esse efeito, o valor da ação atuante (S_d) dever ser menor ou igual ao valor da capacidade resistente (R_d).

$$S_d \leq R_d \quad (3.15)$$

$$R_d = R_k / \gamma_M \quad (3.16)$$

Sendo R_k a resistência característica de um único dispositivo de ancoragem ou de um grupo de ancoragens e γ_M o coeficiente parcial de segurança.

Quadro 3.1 - Coeficientes parciais de segurança para o Anexo C - ETAG 001. [13]

MODO DE ROTURA	COEFICIENTE PARCIAL DE SEGURANÇA	
Rotura por cone de betão Rotura por “splitting” Rotura por “pull-out” Rotura por “pry-out” Rotura do betão pelo bordo	$\gamma_{Mc} = \gamma_c \times \gamma_2$	
	$\gamma_c = 1,5$ (para betão)	
	γ_2	Esforço axial
		1,0 para sistemas de instalação de alta segurança
		1,2 para sistemas de instalação de segurança normal
		1,4 para sistemas de instalação de baixa segurança mas ainda assim aceitável
		Esforço de corte
1,0		
Para os coeficientes parciais γ_{Msp} e γ_{Mp} deve ser adotado o valor de γ_{Mc} .		
Rotura do aço	γ_{Ms}	Esforço axial
		$\frac{1,2}{f_{yk}/f_{uk}} \geq 1,4$

		Esforço de corte
		$\frac{1,0}{f_{yk}/f_{uk}} \geq 1,25 \text{ se } \begin{cases} f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2 \\ E \\ f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8 \end{cases}$
		$1,5 \text{ se } \begin{cases} f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2 \\ \text{OU} \\ f_{yk}/f_{uk} > 0,8 \end{cases}$

3.2.1.2 Método A

Neste método, a equação 3.15 deverá ser satisfeita em todas as direções dos esforços assim como para todos os modos de rotura.

Quadro 3.2 - Verificações a efetuar segundo Anexo C - ETAG 001. [13]

			Dispositivos de Ancoragem		
			Individual	Grupo	
Dimensionamento ao esforço axial	A	Rotura do aço	$N_{Sd} \leq N_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	$N_{Sd}^h \leq N_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	
	B	Rotura por “pull-out”	$N_{Sd} \leq N_{Rk,p}/\gamma_{Mp}$	$N_{Sd}^h \leq N_{Rk,p}/\gamma_{Mp}$	
	C	Rotura por cone de betão	$N_{Sd} \leq N_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$		$N_{Sd}^g \leq N_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$
	D	Rotura por “splitting”	$N_{Sd} \leq N_{Rk,sp}/\gamma_{Msp}$		$N_{Sd}^g \leq N_{Rk,sp}/\gamma_{Msp}$
Dimensionamento ao esforço de corte	E	Rotura do aço sem efeito de alavanca	$V_{Sd} \leq V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	$V_{Sd}^h \leq V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	
	F	Rotura do aço com efeito de alavanca	$V_{Sd} \leq V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	$V_{Sd}^h \leq V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	
	G	Rotura do betão por “pry-out”	$V_{Sd} \leq V_{Rk,cp}/\gamma_{Mc}$		$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp}/\gamma_{Mc}$
	H	Rotura do betão pelo bordo	$V_{Sd} \leq V_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$		$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$
Dimensionamento ao esforço axial e corte	I	Verificação da capacidade resistente á combinação dos esforços axiais e corte			

A. Rotura do aço

O valor da resistência característica de uma ancoragem no caso de rotura do aço, $N_{Rk,s}$, é obtido através da seguinte equação:

$$N_{Rk,s} = A_s \times f_{uk} \quad [N] \quad (3.17)$$

B. Rotura por “pull-out”

O valor da resistência característica no caso de rotura por “pull-out”, $N_{Rk,p}$, deve ser consultado na Especificação Técnica Europeia (ETA) de cada produto.

C. Rotura por cone de betão

O valor da resistência de um dispositivo de ancoragem ou grupo de ancoragens, associado ao fenómeno de rotura por cone de betão, é dado pela seguinte equação:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \times \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \times \psi_{s,N} \times \psi_{re,N} \times \psi_{ec,N} \quad [N] \quad (3.18)$$

$N_{Rk,c}^0$ - Traduz o valor da resistência característica inicial de um dispositivo de ancoragem.

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \times \sqrt{f_{ck,cube}} \times hef^{1,5} \quad [N] \quad (3.19)$$

hef – Profundidade de embebimento. [mm]

$$k_1 = \begin{cases} 7,2 & \text{para betão fendilhado} \\ 10,1 & \text{para betão não fendilhado} \end{cases} \quad (3.20)$$

$$f_{ck,cube} \text{ – Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias para um provete cúbico (150mm x 150mm).} \quad (3.21)$$

$A_{c,N}^0$ - Representa a área de referência associada á rotura por cone de betão para um dispositivo de ancoragem.

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \times s_{cr,N} [mm^2] \quad (3.22)$$

$s_{cr,N} = 3hef$ – Espaçamento crítico entre dispositivos de ancoragem associado ao fenómeno de rotura por cone de betão.

$A_{c,N}$ - Representa a área real associada á rotura por cone de betão tendo em conta a interseção das áreas de cada dispositivo de ancoragem e espaçamento em grupos de ancoragem.

$\psi_{s,N}$ - Fator que considera as perturbações associadas à distribuição de tensões no betão devido aos bordos do elemento de betão.

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \times \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1 \quad (3.23)$$

c – Distância mínima ao bordo. [mm]

$c_{cr,N} = 1,5hef$ – Distância crítica dos dispositivos de ancoragem aos bordos do elemento de betão.

$\psi_{re,N}$ - Fator que considera o efeito da armadura existente para aumento da capacidade resistente do elemento.

$$\psi_{re,N} = 0,5 + \frac{hef}{200} \leq 1 \quad (3.24)$$

$\psi_{ec,N}$ - Fator que considera o efeito de grupo quando atuam diferentes esforços em cada dispositivo de ancoragem de um mesmo grupo.

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2e_N/s_{cr,N}} \leq 1 \quad (3.25)$$

Em casos especiais, como por exemplo ligações que tenham 3 ou mais bordos com uma distância aos dispositivos de ancoragem de $c_{max} \leq c_{cr,N}$, para se determinarem resultados mais precisos devem-se utilizar as equações seguintes.

$$h_{ef}' = \frac{c_{max}}{c_{cr,N}} \times h_{ef} \leftrightarrow h_{ef}' = \frac{s_{max}}{s_{cr,N}} \times h_{ef} \quad (3.26)$$

$$s'_{cr,N} = \frac{h_{ef}'}{h_{ef}} \times s_{cr,N} \quad (3.27)$$

$$c'_{cr,N} = 0,5 \times s'_{cr,N} \quad (3.28)$$

D. Rotura por “*splitting*”

Antes de se proceder à verificação do fenómeno é necessário avaliar se o fenómeno ocorre no elemento em processo de dimensionamento através das condições descritas na Norma [13]. Caso exista, a resistência característica de um dispositivo de ancoragem individual ou de um grupo de ancoragens associado ao fenómeno de “*splitting*” é dada pela seguinte equação:

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 \times \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \times \psi_{s,N} \times \psi_{re,N} \times \psi_{ec,N} \times \psi_{h,sp} \quad [N] \quad (3.29)$$

$\psi_{h,sp}$ - Fator que contabiliza a influência da profundidade de embebimento.

$$\psi_{h,sp} = \left(\frac{h}{h_{min}} \right)^{2/3} \leq 1,5 \quad (3.30)$$

h - Altura do elemento de betão. [mm]

h_{min} – Altura mínima do elemento de betão. [mm]

E. Rotura do aço, esforço de corte sem efeito de alavanca

A resistência característica de um dispositivo de ancoragem no caso de rotura do aço, sem efeito de alavanca, pode ser determinada através de:

$$V_{Rk,s} = 0,5 \times A_s \times f_{uk} \quad [N] \quad (3.31)$$

F. Rotura do aço, esforço de corte com efeito de alavanca

A resistência característica de um dispositivo de ancoragem no caso de rotura do aço, com efeito de alavanca, pode ser determinada através de:

$$V_{Rk,s} = \frac{\alpha_M \times M_{Rk,s}}{l} \quad [N] \quad (3.32)$$

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \times (1 - N_{sd}/N_{Rd,s}) \quad [Nm] \quad (3.33)$$

O momento resistente característico de um dispositivo de ancoragem individual é dado pela equação 3.34.

$$M_{Rk,s}^0 = 1,2 \times W_{el} \times f_{uk} \quad [Nm] \quad (3.34)$$

Os valores de $N_{Rk,s}$ e γ_{Ms} são obtidos através da consulta da Especificação Técnica Europeia (ETA) correspondente ao tipo de dispositivo de ancoragem utilizado.

$$N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Ms} \quad (3.35)$$

G. Rotura do betão por “pry-out”

A resistência característica associada ao fenómeno de “pry-out” deve ser determinada através da equação 3.36.

$$V_{Rk,cp} = k \times N_{Rk,c} \quad [N] \quad (3.36)$$

$$k = \begin{cases} 1 & \text{para } h_{ef} < 60mm \\ 2 & \text{para } h_{ef} \geq 60mm \end{cases}$$

H. Rotura do betão pelo bordo

A resistência característica de um dispositivo de ancoragem ou de um grupo de ancoragens no caso de rotura do betão pelos bordos é dada pela seguinte equação:

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \times \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \times \psi_{s,V} \times \psi_{h,V} \times \psi_{\alpha,V} \times \psi_{ec,V} \times \psi_{re,V} \quad [N] \quad (3.37)$$

$$k = \begin{cases} 1,7 & \text{para betão fendilhado} \\ 2,4 & \text{para betão não fendilhado} \end{cases}$$

A resistência característica inicial de uma ancoragem carregada perpendicularmente ao bordo deve ser determinada através da seguinte equação:

$$V_{Rk,c}^0 = k_1 \times d_{nom}^\alpha \times h_{ef}^\beta \times \sqrt{f_{ck,cube}} \times c_1^{1,5} \quad (3.38)$$

Sendo que os parâmetros α e β devem ser calculados pelas seguintes equações:

$$\alpha = 0,1 \times \left(\frac{l_f}{c_1} \right)^{0,5} \quad (3.39)$$

$$\beta = 0,1 \times \left(\frac{d_{nom}}{c_1} \right)^{0,2} \quad (3.40)$$

$A_{c,V}^0$ - Representa a área de referência associada á rotura do betão pelo bordo para um dispositivo de ancoragem.

$$A_{c,V}^0 = 4,5c_1^2 \quad (3.41)$$

$A_{c,V}$ - Representa a área real associada á rotura do betão pelo bordo tendo em conta a interseção das áreas de cada dispositivo de ancoragem e espaçamento em grupos de ancoragem.

$$\psi_{s,V} = 0,7 + 0,3 \times \frac{c_2}{1,5c_1} \leq 1 \quad (3.42)$$

$\psi_{h,V}$ - Fator que considera o facto da capacidade resistente ao corte não decrescer proporcionalmente durante a espessura do elemento de betão dado pelo rácio $A_{c,V}/A_{c,V}^0$.

$$\psi_{h,V} = \left(\frac{1,5c_1}{h} \right)^{1/2} \geq 1 \quad (3.43)$$

$\psi_{\alpha,V}$ - Fator que considera o ângulo α_V entre a carga aplicada Vsd e a direção perpendicular ao bordo livre do elemento de betão.

$$\psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_V)^2 + \left(\frac{\sin \alpha_V}{2,5} \right)^2}} \geq 1 \quad (3.44)$$

$$0^\circ \leq \alpha_V \leq 90^\circ$$

$\psi_{ec,V}$ - Fator que considera o efeito de grupo quando atuam diferentes esforços em cada dispositivo de ancoragem de um mesmo grupo.

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + 2e_V/(3c_1)} \leq 1 \quad (3.45)$$

$\psi_{re,V}$ - Fator que considera o efeito do tipo de reforço usado em betão fendilhado.

$$\psi_{re,V} = \begin{cases} 1,0 & \text{para ligações em betão não fendilhado e em betão fendilhado sem reforço nos bordos} \\ 1,2 & \text{para ligações em betão fendilhado com reforço nos bordos } (\geq \phi 12\text{mm}) \\ 1,4 & \text{para ligações em betão fendilhado com reforço nos bordos e espaçamento entre cintas reduzido } (a \leq 100\text{mm}) \end{cases}$$

I. Verificação da capacidade resistente á combinação dos esforços axiais e corte

$$\beta_N + \beta_V \leq 1.2 \quad (3.46)$$

$$\beta_N \leq 1$$

$$\beta_V \leq 1$$

3.2.1.3 Método B

O princípio de utilização deste método defende que o valor da resistência característica é independente da direção do carregamento e dos modos de rotura. No caso de a solução englobar um grupo de ancoragens a verificação da equação 3.15 deverá ser realizada no dispositivo de ancoragem mais esforçado. O anexo C da ETAG 001 indica que se os valores reais de espaçamento e distância ao bordo foram inferiores aos valores críticos (s_{cr} e c_{cr}) e se forem superiores ou iguais aos valores mínimo (s_{min} e c_{min}), a força resistente atuante poderá ser calculada através de:

$$F_{Rd} = \frac{1}{n} \times \frac{A_c}{A_c^0} \times \psi_s \times \psi_{re} \times F_{Rd}^0 [N] \quad (3.47)$$

n – número de dispositivos de ancoragem submetidos a esforços

F_{Rd}^0 - valor para betão fendilhado ou não fendilhado, exposto na ETA de cada produto.

A influência do espaçamento e da distância ao bordo é tida em consideração pelo fator A_c/A_c^0 e por ψ_s . No caso de esforço de corte com efeito de alavanca, a resistência característica deve ser calculada segundo (3.33), substituindo $N_{Rd,s}$ por F_{Rd}^0 . O valor de F_{Rd} corresponde ao menor valor calculado pelas equações (3.47) ou por $V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$ (3.32).

3.2.1.4 Método C

Tal como no método anterior, o valor de F_{Rd} é independente da direção dos esforços e dos modos de rotura. Sendo que o procedimento de cálculo desse valor é igual ao método anterior. A diferença reside nos valores reais de espaçamento e distância ao bordo que agora devem ser iguais ou superiores aos valores críticos (s_{cr} e c_{cr}).

3.2.2 EOTA TR029

O relatório técnico EOTA TR029 [14] indica qual o método de dimensionamento para dispositivos de ancoragem cujo princípio fundamental de transferência de esforços seja o de colagem, sendo que este engloba um conjunto de verificações tendo em conta as direções do carregamento e também os modos de rotura.

Quadro 3.3 - Verificações a efetuar segundo EOTA TR029. [14]

			Dispositivo de Ancoragem		
			Individual	Grupo	
Dimensionamento ao esforço axial	J	Rotura do aço	$N_{Sd} \leq N_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	$N_{Sd}^h \leq N_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	
	K	Rotura por combinação dos fenómenos de “pull-out” e cone de betão	$N_{Sd} \leq N_{Rk,p}/\gamma_{Mp}$	$N_{Sd}^h \leq N_{Rk,p}/\gamma_{Mp}$	
	L	Rotura por cone de betão	$N_{Sd} \leq N_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$		$N_{Sd}^g \leq N_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$
	M	Rotura por “splitting”	$N_{Sd} \leq N_{Rk,sp}/\gamma_{Msp}$		$N_{Sd}^g \leq N_{Rk,sp}/\gamma_{Msp}$
Dimensionamento ao esforço de corte	N	Rotura do aço sem efeito de alavanca	$V_{Sd} \leq V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	$V_{Sd}^h \leq V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	
	O	Rotura do aço com efeito de alavanca	$V_{Sd} \leq V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	$V_{Sd}^h \leq V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	
	P	Rotura por “pry-out”	$V_{Sd} \leq V_{Rk,cp}/\gamma_{Mc}$		$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp}/\gamma_{Mc}$
	Q	Rotura do betão pelo bordo	$V_{Sd} \leq V_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$		$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$

J. Rotura do aço

A resistência característica de uma ancoragem no caso de rotura do aço é dada pela seguinte equação:

$$N_{Rk,s} = A_s \times f_{uk} \quad (3.48)$$

$N_{Rk,s}$ – O valor da resistência característica também pode ser consultado na Especificação Técnica Europeia de cada produto.

K. Rotura por combinação dos fenómenos de “pull-out” e cone de betão

A resistência característica associada ao fenómeno de rotura de um dispositivo de ancoragem por cone de betão e “pull-out”, $N_{Rk,p}$, traduz-se na seguinte equação:

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \times \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \times \psi_{s,Np} \times \psi_{g,Np} \times \psi_{ec,Np} \times \psi_{re,Np} [N] \quad (3.49)$$

O valor da resistência característica inicial de um dispositivo de ancoragem traduz-se pela equação 3.50.

$$N_{Rk,p}^0 = \pi \times d \times hef \times \tau_{Rk} [N] \quad (3.50)$$

Os restantes parâmetros de cálculo de $N_{Rk,p}$ calculam-se através das seguintes equações.

$$A_{p,N}^0 = s_{cr,Np} \times s_{cr,Np} [mm^2] \quad (3.51)$$

$$s_{cr,Np} = 20 \times d \times \left(\frac{\tau_{Rk,ucr}}{7,5} \right)^{0,5} \leq 3 \times hef \quad (3.52)$$

$$c_{cr,Np} = \frac{s_{cr,Np}}{2} \quad (3.53)$$

$$\psi_{s,Np} = 0,7 + 0,3 \times \frac{c}{c_{cr,Np}} \leq 1 \quad (3.54)$$

$$\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - \left(\frac{s}{s_{cr,Np}} \right)^{0,5} \times (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1 \quad (3.55)$$

$$\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \times \left(\frac{d \times \tau_{Rk}}{k \times \sqrt{hef \times f_{ck,cube}}} \right)^{1,5} \geq 1 \quad (3.56)$$

$$\tau_{Rk} = \begin{cases} 2,3 & \text{para betão fendilhado} \\ 3,2 & \text{para betão não fendilhado} \end{cases} \quad (3.57)$$

$$\psi_{ec,Np} = \frac{1}{1 + 2e_N/s_{cr,Np}} \leq 1 \quad (3.58)$$

$$\psi_{re,Np} = 0,5 + \frac{hef}{200} \leq 1 \quad (3.59)$$

L. Rotura por cone de betão

As verificações a realizar para este modo de rotura são iguais às previstas na ETAG 001 [13] e já enunciadas acima.

M. Rotura por “splitting”

As verificações a realizar para este modo de rotura são iguais às previstas na ETAG 001 [13] e já enunciadas acima.

As restantes verificações N, O, P e Q a realizar para os respetivos modos de rotura associados aos esforços de corte são iguais às previstas na ETAG 001 [13] e já enunciadas acima.

3.2.3 Método simplificado da Hilti

O método desenvolvido pelo fabricante Hilti consiste numa versão simplificada do método A que consta no anexo C da ETAG 001 [13] e da EOTA TR029 [14]. O método tem como princípio a inexistência de esforços diferentes a atuar em dispositivos de ancoragem individualmente, ou seja, a inexistência de excentricidade. O método, tal como os outros, é bastante similar às verificações previstas na prEN1992-4:2013 [2] e permite calcular facilmente e com rapidez uma solução de ancoragem.

A consulta deste método pode ser feita no Manual Técnico de Ancoragens disponível no “website” da Hilti.

4 DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES AÇO-BETÃO SEGUNDO A PREN1992-4:2013

4.1 INTRODUÇÃO

Apesar da existência de bibliografia variada dirigida para os elementos estruturais e não estruturais de betão armado, metálicos, mistos e de madeira, existem poucos documentos que nos permitam estudar de forma aprofundada as ligações aço-betão.

A pré-Norma [2] sobre a qual será realizado o estudo durante o estágio, será o primeiro documento formal redigido e reconhecido a nível europeu que permitirá aos projetistas uma correta uniformização nos métodos de dimensionamento deste tipo de ligações

Segundo o LNEC, a norma não estava prevista inicialmente no programa de normalização da CEN/TC 250 (Eurocódigos Estruturais) e encontra-se desde Dezembro de 2014 a aguardar o Voto Formal do projeto da norma na sua versão revista. Esse processo poderá demorar alguns meses, sendo possível acompanhar a sua evolução através do “*website*” do CEN.

A prEN1992-4:2013 [2] traduz num só documento os resultados de pesquisas e estudos efetuados no que diz respeito a ligações aço-betão tendo em conta os diferentes dispositivos de ancoragem que foram desenvolvidos até aos dias de hoje, regulamentando o dimensionamento deste tipo de ligações usadas na transmissão de esforços para o betão, sendo válida para utilizações que estejam inseridas no âmbito do EC2 [6].

Destina-se para aplicações cuja ocorrência de uma falha de segurança nas ligações resultará em colapso total ou parcial da estrutura, constituindo assim risco para a vida humana e/ou perdas económicas significativas.

4.2 CAMPO DE APLICAÇÃO

4.2.1 Tipos de dispositivos de ancoragem

A prEN1992-4:2013 [2] tem por base a “*Fastener Design Theory*” que pressupõe que a capacidade de tração do betão é utilizada diretamente na transferência de esforços para os componentes do betão, sendo assim, para esse efeito prevê os seguintes tipos de dispositivos de ancoragem (ver Quadro 2.2):

- i. Colocados previamente à betonagem tais como chumbadouros e canais de ancoragem;
- ii. Colocados após a betonagem como as buchas mecânicas e químicas

A pré-Norma [2] assume ainda que numa ligação aço-betão os dispositivos de ancoragem instalados deverão ser todos do mesmo tipo e do mesmo tamanho, como por exemplo, uma ligação com 4 chumbadouros M20.

4.2.2 Características dos dispositivos de ancoragem

A nível de material a pré-Norma [2] abrange dispositivos de ancoragem constituídos por aço carbono (ISO 898, EN10025, EN10080), aço inoxidável (EN10088, ISSO 3506) e ferro fundido maleável (ISO 5922). Sendo válida para dispositivos cuja resistência à tração do aço nominal (f_{uk}) é inferior a 1000 N/mm². Este valor limite não se aplica aos parafusos para betão.

No que diz respeito ao diâmetro mínimo e profundidades de embebimento, os valores mínimos encontram-se expostos no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Características dos dispositivos de ancoragem. [2]

	Dispositivos de ancoragem		
	Chumbadouros	Buchas Mecânicas	Buchas Químicas
$\phi_{min} \geq 6mm (M6)$	x	x	x
$h_{ef} \geq 40mm$	x	x	x
$h_{ef} \leq 20d_{nom}$			x

4.2.3 Características do material base: betão

A prEN1992-4:2013 [2] é válida para dispositivos de ancoragem instalados em elementos de betão cujas classes pertençam ao intervalo de C12/15 a C90/105 de acordo com a EN206-1 [24]. No entanto no dimensionamento deste tipo de ligações a classe de betão está limitada à classe de C60/75.

Quadro 4.2 - Características de resistência do betão para as classes aplicáveis. [6]

Classes de resistência do betão											
fck (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60
fck,cube (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75
fcm (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68
fctm (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4
fctk_{0,05} (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1
fctk_{0,95} (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7
Ecm (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39

4.2.4 Condição do betão

Tal como mencionado anteriormente, também a prEN1992-4:2013 [2] prevê que o betão se encontra fendilhado no seu período de vida útil, sendo assim e de forma conservativa, aquando o dimensionamento dos dispositivos de ancoragem assume-se que o betão está fendilhado. Ainda assim, a pré-Norma [2] prevê uma equação que permite determinar a condição do betão durante o seu período de vida útil, no caso em que seja provado que o betão não fissura e o dispositivo de ancoragem no total da sua respetiva profundidade de embebimento se encontre sempre em estado não fendilhado. Caso esta equação seja cumprida, considera-se betão não fendilhado.

$$\sigma_L + \sigma_R \leq \sigma_{adm} \quad (4.1)$$

As tensões σ_L e σ_R devem ser calculadas assumindo que betão não se encontra fendilhado. Salvo indicação de contrário, o valor de σ_R deverá ser de 3 N/mm² e o valor de σ_{adm} recomendado é de 0.

4.2.5 Modos de Rotura

Os modos de rotura previstos dependem do tipo de esforço a que estão associados, sendo assim encontram-se divididos em:

- Rotura associada a esforço axial
 - Rotura do aço
 - Rotura por “*pull-out*”
 - Rotura por combinação dos fenómenos de “*pull-out*” e cone de betão
 - Rotura por cone de betão
 - Rotura por “*splitting*”
 - Rotura por “*blow-out*”
 - Rotura do aço da armadura
 - Rotura da ancoragem
- Rotura associada a esforços de corte
 - Rotura do aço sem efeito de alavanca
 - Rotura do aço com efeito de alavanca
 - Rotura do betão pelo bordo
 - Rotura por “*pry-out*”
 - Rotura do aço da armadura
 - Rotura da ancoragem

4.3 PRINCÍPIOS DE DIMENSIONAMENTO

4.3.1 Considerações gerais

As ligações aço-betão previstas na prEN1992-4:2013 [2] devem ser dimensionadas para um período de vida útil de pelo menos 50 anos, sendo que esse mesmo período nunca deve ser inferior ao período de vida útil da placa de base metálica. O seu dimensionamento deve ser efetuado por profissionais devidamente qualificados, devendo ser instalados de acordo com as especificações do projeto.

4.3.2 Verificações previstas

Para todos os tipos de dispositivos de ancoragem previstos na pré-Norma [2], sempre que se justifique, devem ser realizadas as seguintes verificações:

- Estados limite último (rotura e fadiga)

$$E_d \leq R_d \quad (4.2)$$

$$R_d = R_k / \gamma_M \quad (4.3)$$

- Ação sísmica
- Ação do Fogo
- Estado limite de utilização (deformação)

$$E_d \leq C_d \quad (4.4)$$

4.3.3 Verificação pelo método dos coeficientes parciais

4.3.3.1 Coeficientes parciais para ações

Na verificação de ações indiretas ou ações associadas ao fenómeno de fadiga em Estado limite último, devem ser utilizados os valores de γ_{ind} e $\gamma_{F,fat}$.

Quadro 4.3 - Valores recomendados para os coeficientes parciais para ações. [2]

γ_{ind}	1,2 (Rotura do betão)
	1 (Restantes modos de rotura)
$\gamma_{F,fat}$	1

4.3.3.2 Coeficientes parciais de resistência

4.3.3.2.1 Estados limite último (rotura, impacto e ação sísmica)

Os valores dos coeficientes parciais para dispositivos de ancoragem sob cargas estáticas, cargas associadas a impactos ou ação sísmicas são expostos no Quadro 4.4 e devem ser aplicados às respetivas resistências características.

Quadro 4.4 - Valores recomendados dos coeficientes parciais para cargas estáticas, de impacto ou de ação sísmica. [2]

MODOS DE ROTURA		COEFICIENTE PARCIAL
Rotura do Aço (Dispositivos de ancoragem)	Axial	$\gamma_{Ms} = 1,2 \times f_{uk}/f_{yk} \geq 1,4$
	Corte com ou sem efeito de alavanca	$\gamma_{Ms} = 1 \times f_{uk}/f_{yk} \geq 1,25$ quando $\begin{cases} f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2 \\ e \\ f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8 \end{cases}$
		$\gamma_{Ms} = 1,5$ quando $\begin{cases} f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2 \\ ou \\ f_{yk}/f_{uk} > 0,8 \end{cases}$
Rotura do aço (Canais de ancoragem)	Axial nas ancoragens e nos canais	$\gamma_{Ms} = 1,2 \times f_{uk}/f_{yk} \geq 1,4$
	Corte com ou sem efeito de alavanca nos parafusos dos canais de ancoragem	$\gamma_{Ms} = 1 \times f_{uk}/f_{yk} \geq 1,25$ quando $\begin{cases} f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2 \\ e \\ f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8 \end{cases}$
		$\gamma_{Ms} = 1,5$ quando $\begin{cases} f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2 \\ ou \\ f_{yk}/f_{uk} > 0,8 \end{cases}$
	Ligação entre canal e ancoragem em axial e corte	$\gamma_{Ms,ca} = 1,8$
	Rotura do canal de ancoragem por dobragem das abas	$\gamma_{Ms,I} = 1,8$
	Dobragem do canal de ancoragem	$\gamma_{Ms,flex} = 1,15$
Rotura do Aço (Reforço)	Axial	$\gamma_{Ms,re} = 1,15$
Rotura do Betão (Axial)	Cone de betão	$\gamma_{Mc} = \gamma_c \times \gamma_{inst}$
	Rotura pelo bordo	$\gamma_c = \begin{cases} 1,5 \\ 1,0 \end{cases}$
	Rotura por “blow-out”	$\gamma_{inst} \geq 1,0$ para dispositivos instalados após betonagem
	Rotura por “pry-out”	
	Rotura por “splitting”	$\gamma_{Msp} = \gamma_{Mc}$
Rotura por “pull-out”	“Pull-out” e combinação de “pull-out” e cone de betão	$\gamma_{Mp} = \gamma_{Mc}$

4.3.3.2.2 Estado limite último (fadiga)

Os valores dos coeficientes parciais para dispositivos de ancoragem sob o fenómeno de fadiga devem ser aplicados aos valores característicos de resistência.

Quadro 4.5 - Valores recomendados dos coeficientes parciais associados ao fenómeno de fadiga. [2]

$\gamma_{Ms,fat}$	1,35 (rotura do aço)
$\gamma_{Mc,fat}$	$1,5 \times \gamma_{inst}$ (rotura do betão, rotura por “ <i>splitting</i> ” e rotura por “ <i>pull-out</i> ”)
$\gamma_{Msp,fat}$	
$\gamma_{Mp,fat}$	

4.3.3.2.3 Estado limite de utilização (deformação)

O valor recomendado é $\gamma_M = 1,0$.

4.4 DISTRIBUIÇÃO DOS ESFORÇOS PELOS ELEMENTOS DA LIGAÇÃO

Os esforços aplicados numa ligação aço-betão são transferidos aos dispositivos de ancoragem através da placa de base metálica. No caso de na ligação estar aplicado um momento fletor ou um esforço de compressão, que em contacto com o betão gera uma força de atrito, a pré-Norma [2] negligencia essa força gerada no dimensionamento das ligações.

4.4.1 Chumbadouros, Buchas Mecânicas e Químicas

4.4.1.1 Esforço Axial

O valor de cálculo dos esforços que atuam nos dispositivos de ancoragem devido aos valores de cálculo associados às forças normais e momentos fletores que atuam sobre uma placa de base de pilar rígida deve ser determinado assumindo uma distribuição linear nessa mesma base. Se a placa de base se apoiar no material base (betão), com ou sem camada de argamassa não retrátil, os esforços são transmitidos pelo dispositivo de ancoragem.

A distribuição dos esforços pelos dispositivos deve ser calculada através de uma análise elástica assumindo os seguintes pressupostos:

- A placa de base metálica deverá apresentar rigidez suficiente para que a distribuição linear seja válida;
- A rigidez axial deverá ser igual em todos os dispositivos de ancoragem;
- O módulo de elasticidade do betão a utilizar é $E_c = 30000 \text{ N/mm}^2$;
- Caso não seja indicado o contrário, o módulo de elasticidade do aço a utilizar é $E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$.

Para grupos de ancoragens sujeitos a diferentes níveis de esforços de tração $N_{Ed,i}$ a atuar nos dispositivos de ancoragem individualmente, a excentricidade e_N da força de tração N_{Ed}^g do grupo em relação ao centro de gravidade dos dispositivos tracionados influencia a resistência do cone de betão.

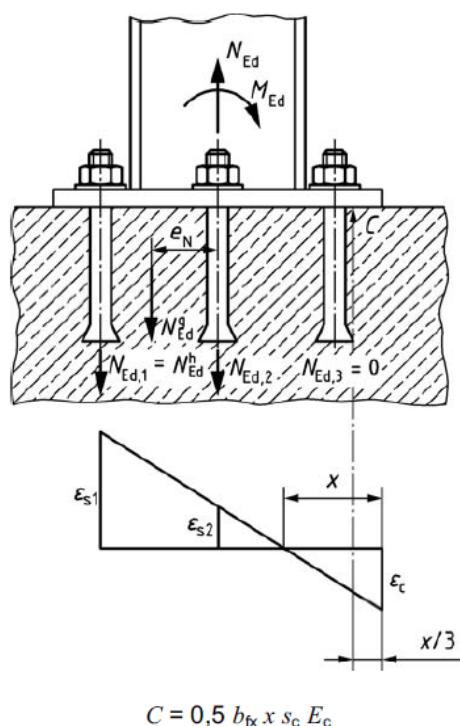


Figura 4.1 - Ligação aço-betão submetida a esforços de tração e momento fletor. [2]

4.4.1.2 Esforço de Corte

4.4.1.2.1 Distribuição dos esforços

A capacidade resistente e a eficácia dos dispositivos de ancoragem sob um esforço de corte é influenciada pela folga existente, isto é, se o diâmetro do furo na placa de base metálica não for superior ao valor de d_f exposto no Quadro 4.6, devem ser considerados os seguintes pressupostos:

- Todos os dispositivos de ancoragem são contabilizados:
 - Se estiverem afastados do bordo ($c > \max(10h_{ef}, 60d_{nom})$);
 - Para verificação à rotura do aço e ao fenómeno de “*pry-out*”;
 - Se estiver sob um esforço de corte paralelo ao bordo ou por um momento torsor.

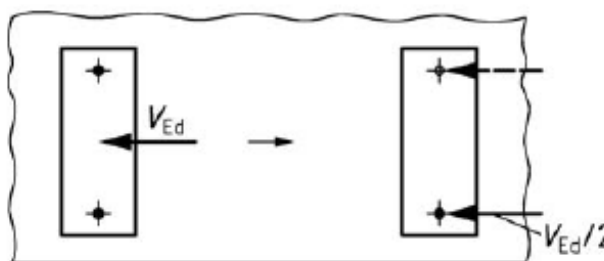


Figura 4.2 - Grupo de dois dispositivos de ancoragem carregados paralelamente ao bordo. [2]

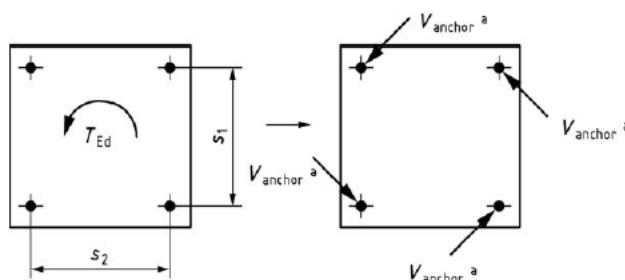


Figura 4.3 - Exemplo da aplicação de um momento torsor a um grupo de 4 dispositivos de ancoragem. [2]

$$V_{anchor} = \frac{T_{ed}}{I_p} \left[\left(\frac{s_1}{2} \right)^2 + \left(\frac{s_2}{2} \right)^2 \right]^{0,5} \text{ [N]} \quad (4.5)$$

$$I_p = s_1^2 + s_2^2 \text{ [mm}^2\text{]}$$

(4.6)

Quadro 4.6 - Dimensões das folgas. [2]

Diâmetro externo - d^a ou d_{nom}^b [mm]	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
Diâmetro d_f da folga do furo na placa de base metálica [mm]	7	9	12	14	16	18	20	22	24	26	30	33
^a se o parafuso está em contacto com a placa de base metálica												
^b se a manga que recobre o parafuso está em contacto com a placa de base metálica												

4.4.1.2.2 Efeito de alavanca

O efeito de alavanca consiste na aplicação de um esforço de corte num determinado dispositivo de ancoragem a uma distância l_a do elemento de betão, como é possível ver na Figura 4.4.

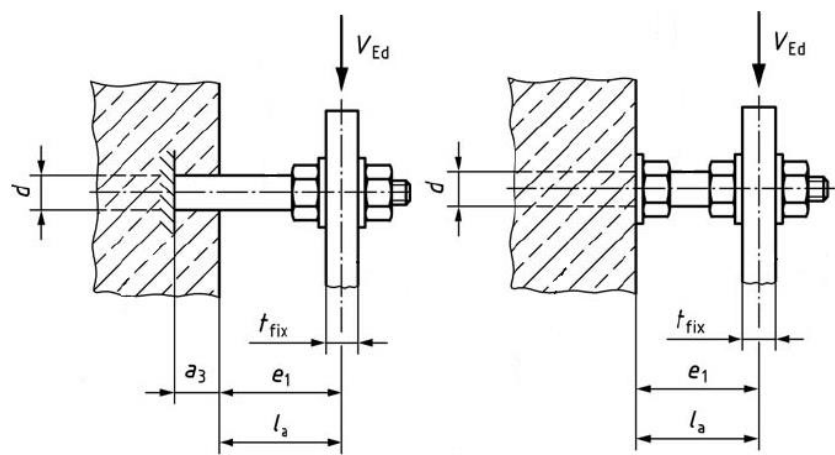


Figura 4.4 - Definição do efeito de alavanca. [2]

4.4.1.2.3 Inexistência de efeito de alavanca

A prEN1992-4:2013 [2] define que um esforço de corte atua sobre um dispositivo de ancoragem sem efeito de alavanca se forem cumpridas todas as seguintes condições:

- i. A placa de base metálica está em contacto com o dispositivo de ancoragem num comprimento de pelo menos $0,5t_{fix}$;
- ii. O diâmetro d_f do furo não for superior ao valor estipulado no Quadro 4.6;
- iii. A placa de base metálica estiver fixa ao elemento de betão sem uma camada intermédia de argamassa não retrátil ou caso possua essa camada, a sua espessura não exceda $0,5d$ e a sua capacidade resistente seja pelo menos igual à do betão mas nunca inferior a 30 N/mm^2

4.4.1.2.4 Existência de efeito de alavanca

Uma vez que as condições expostas acima não sejam verificadas, assume-se que o esforço de corte atua nos dispositivos de ancoragem com efeito de alavanca.

O valor de l_a pode ser determinado através da seguinte equação.

$$l_a = a_3 + e_1 \text{ [mm]} \quad (4.7)$$

O momento gerado pelo efeito de alavanca pode ser calculado através da equação 4.8.

$$M_{Ed} = V_{Ed} + \frac{l_a}{\alpha_M} \text{ [Nm]} \quad (4.8)$$

O valor de α_M depende do grau de restrição do dispositivo de ancoragem em relação à sua aplicação ao elemento de betão, como é possível ver na Figura 4.5. Caso não exista qualquer restrição, $\alpha_M = 1$, se o dispositivo estiver restringido em todas as direções $\alpha_M = 2$.

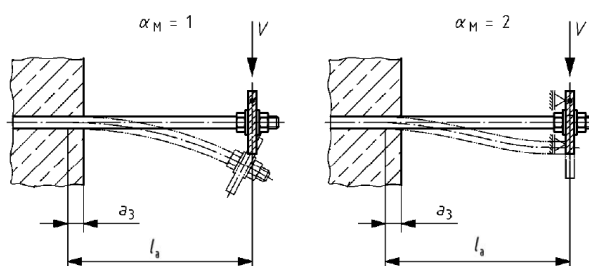


Figura 4.5 - Definição do valor de α_M . [16]

4.4.2 Canais de ancoragem

A distribuição de esforços axiais num canal de ancoragem é determinada assumindo que o canal se comporta como uma viga apoiada em apoios elásticos (ancoragens), sendo que a resultante dos esforços depende significativamente da rigidez do canal e do grau de restrição das ancoragens. Por outro lado, a distribuição de esforços de corte é influenciada pela distribuição de pressão na zona de contacto entre o canal e o betão.

A prEN1992-4:2013 [2] prevê que para canais de ancoragem que possuam apenas duas ancoragens, os esforços são distribuídos assumindo uma viga simplesmente apoiada com um comprimento igual ao espaçamento entre ancoragens. Caso possuam mais do que duas ancoragens, adota-se uma distribuição de esforços triangular.

A pré-Norma [2] prevê ainda que sobre os canais de ancoragem apenas atuam esforços de corte perpendicularmente ao eixo longitudinal do canal.

4.4.2.1 Esforço Axial

O esforço axial a atuar em cada ancoragem de um canal é calculado através das seguintes equações:

$$N_{Ed,i}^a = k \times A'_i \times N_{Ed} \text{ [N]} \quad (4.9)$$

$$k = \frac{1}{\sum_1^n A'_i}, \text{ sendo } n \text{ o número de ancoragens no canal dentro do comprimento } l_i \quad (4.10)$$

$$l_i = 13 \times I_y^{0,05} \times s^{0,5} \geq s \text{ [mm]} \quad (4.11)$$

Caso seja desconhecida a posição exata da aplicação dos esforços, deve ser considerada a posição mais desfavorável para cada modo de rotura.

4.4.2.2 Esforço de Corte

As condições expostas para os chumbadouros, buchas mecânicas e químicas para o esforço de corte aplicam-se de igual forma nos canais de ancoragem. A única diferença é que a pré-Norma [2] apenas prevê a aplicação do esforço perpendicularmente ao eixo longitudinal do canal.

4.4.3 Esforços associados a armadura existente na zona da ligação

4.4.3.1 Esforços Axiais

O valor de $N_{Ed,re}$ deve ser calculado utilizando o esforço axial a atuar nos dispositivos de ancoragem ou no caso dos canais de ancoragem, a atuar sobre a ancoragem.

4.4.3.2 Esforços de Corte

O valor de $N_{Ed,re}$ associado à armadura devido à aplicação de um esforço de corte traduz-se na seguinte equação:

$$N_{Ed,re} = \left(\frac{e_s}{z} + 1 \right) \times V_{Ed} \text{ [N]} \quad (4.12)$$

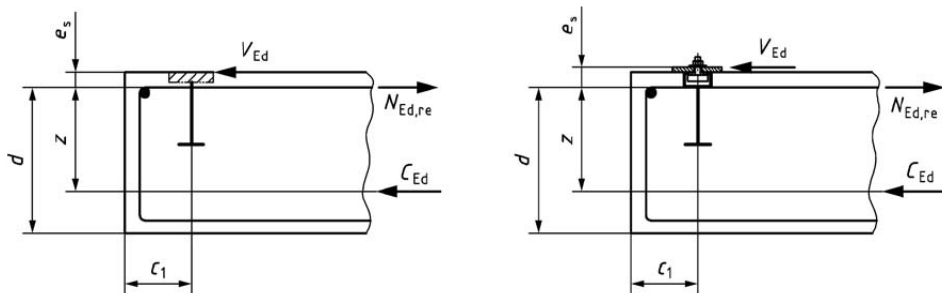


Figura 4.6 - Armadura existente que aumenta a capacidade resistente à aplicação de um esforço de corte, para chumbadouros, buchas e canais de ancoragem. [2]

4.5 VERIFICAÇÕES AO ESTADO LIMITE ÚLTIMO DE ROTURA

4.5.1 Considerações gerais

As verificações devem ser efetuadas para todas as direções dos esforços e todos os modos de rotura, já mencionados no capítulo anterior.

A prEn1992-4:2013 [2] prevê que os esforços nas ancoragens tenham sido calculados utilizando uma análise elástica.

A distância ao bordo e o espaçamento devem ser especificados apenas com tolerâncias positivas. Se este requisito não for cumprido, então a influência das tolerâncias negativas deve ser tida em conta aquando a conceção da ligação.

O espaçamento entre dispositivos exteriores de grupos de ancoragens contíguos ou a distância entre dispositivos de ancoragem individuais ou dispositivos de ancoragem individuais e exteriores de grupos contíguos deve ser $a \geq s_{cr,N}$.

Os furos que tenham sido erradamente realizados e que tenham sido preenchidos por uma argamassa não retráctil não devem ser negligenciados na concepção de ligações.

Para ligações realizadas após a betonagem do betão com distâncias ao bordo $c < 50 \text{ mm}$, o betão deve ser previamente perfurado, especialmente se o betão for constituído por agregados com tamanho máximo superiores a 20mm. Nestes casos é prudente efetuar uma redução da resistência característica do betão relativamente ao cone de arrancamento e ao bordo.

4.5.2 Chumbadouros, Buchas Mecânicas e Químicas

Para que seja verificada a resistência de uma determinada ligação o valor da ação atuante tem que ser inferior ao valor da capacidade resistente. Sendo assim, para cada modo de rotura deve ser verificada a respetiva capacidade resistente tendo em conta os respetivos coeficientes parciais de segurança.

$$E_d \leq R_d \tag{4.13}$$

4.5.2.1 Esforço Axial

As verificações necessárias a realizar para estes tipos de dispositivos de ancoragem são expostas no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 - Quadro-Resumo das verificações previstas para esforço axial. [2]

	Dispositivo de ancoragem		
	Individual	Mais esforçado	Em grupo
Rotura do aço	$N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	
Rotura por “pull-out”	$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$	
Rotura por combinação dos fenómenos de “pull-out” e cone de betão	$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$
Rotura por cone de betão	$N_{Ed} \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$
Rotura por “splitting”	$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}$
Rotura por “blow-out”	$N_{Ed} \leq N_{Rd,cb} = \frac{N_{Rk,cb}}{\gamma_{Mc}}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,cb} = \frac{N_{Rk,cb}}{\gamma_{Mc}}$
Rotura do aço da armadura existente no elemento de betão	$N_{Ed,re} \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$	$N_{Ed,re}^h \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$	
Rotura da ancoragem da armadura existente no elemento de betão	$N_{Ed,re} \leq N_{Rd,a}$	$N_{Ed,re}^h \leq N_{Rd,a}$	

Para cada modo de rotura serão apresentados os procedimentos que permitem quantificar os parâmetros intervenientes em cada equação do Quadro 4.7.

Quadro 4.8 - Procedimentos para a verificação da rotura ao aço sob influência de um esforço axial.

1	Quantificação do esforço atuante N_{Ed} [kN]	
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rk,s}$ [kN]	
	2.1	Aplica-se a chumbadouros, buchas mecânicas ou químicas.
	2.2	Em caso de chumbadouros: $N_{Rk,s} = A_s \times f_{uk}$ [N]
	2.3	Em caso de buchas mecânicas ou químicas: consultar a ETA do produto, através do “website” do fabricante Hilti.
3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Ms} = 1,2 \times f_{uk}/f_{yk} \geq 1,4$	
4	Determinação da capacidade resistente $N_{Rd,s}$ [kN]	

Quadro 4.9 - Procedimentos para a verificação da rotura ao “pull-out” sob influência de um esforço axial.

1	Quantificação do esforço atuante N_{Ed} [kN]	
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rk,p}$ [kN]	
	2.1	Aplica-se apenas a chumbadouros ou a buchas mecânicas.
	2.2	Em caso de chumbadouros: $N_{Rk,p} = k_1 \times A_h \times f_{ck}$ [N]
	2.2.1	$k_1 = \begin{cases} 7,5 & \text{para betão fendilhado} \\ 10,5 & \text{para betão não fendilhado} \end{cases}$
	2.2.2	$A_h = \begin{cases} b \times l, & \text{placa quadrada ou retangular} \\ \frac{\pi}{4} (d_h^2 - d^2), & \text{placa circular} \end{cases}$ [mm ²]
	2.3	Em caso de buchas mecânicas: consultar a ETA do produto, através do “website” do fabricante Hilti.
3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Mp} = \gamma_{Mc} = 1,5$	
4	Determinação da capacidade resistente $N_{Rd,p}$ [kN]	

Quadro 4.10 - Procedimentos para a verificação à rotura por combinação dos fenómenos de “pull-out” e cone de betão sob influência de um esforço axial.

1	Quantificação do esforço atuante N_{Ed} [kN]		
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rk,p}$ [kN]		
2.1	Aplica-se apenas a buchas químicas.		
2.2	$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \times \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \times \Psi_{g,Np} \times \Psi_{s,Np} \times \Psi_{re,N} \times \Psi_{ec,Np}$ [N]		
2.2.1	$N_{Rk,p}^0 = \tau_{Rk} \times \pi \times d \times h_{ef}$ [N]		
2.2.1.1	$\tau_{Rk} = \begin{cases} \tau_{Rk,cr} & \text{para betão fendilhado} \\ \tau_{Rk,ucr} & \text{para betão não fendilhado} \end{cases}$		
2.2.2	$A_{p,N}^0 = s_{cr,Np}^2$ [mm ²] $s_{cr,Np} = 7,3 \times d \times \sqrt{\tau_{Rk}} \leq 3h_{ef}$, com τ_{Rk} assumindo o valor de $\tau_{Rk,ucr}$ para betão não fendilhado da classe C20/25		
2.2.3	$A_{p,N}$ – determinado com recurso ao AutoCAD para cada caso, tendo em conta o tipo de ligação e as suas características geométricas [mm ²]		
2.2.4	$\Psi_{g,Np} = \Psi_{g,Np}^0 - \left(\frac{s}{s_{cr,Np}} \right)^{0,5} \times (\Psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1$		
2.2.4.1	$\Psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \times \left(\frac{\tau_{Rk}}{\tau_{Rk,c}} \right)^{1,5} \geq 1$		
2.2.4.1.1	$\tau_{Rk,c} = \frac{k_8}{\pi \times d} \times \sqrt{h_{ef} \times f_{ck}}$ com $k_8 = \begin{cases} 7,7 & \text{para betão fendilhado} \\ 11,0 & \text{para betão não fendilhado} \end{cases}$		
2.2.5	$\Psi_{s,Np} = 0,7 + 0,3 \times \frac{c}{c_{cr,Np}} \leq 1$		
2.2.6	$\Psi_{re,N} = 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1$		
2.2.7	$\Psi_{ec,Np} = \frac{1}{1 + 2 \times e_N / s_{cr,Np}} \leq 1$		
3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Mp} = \gamma_{Mc} = 1,5$		
4	Determinação da capacidade resistente $N_{Rd,p}$ [kN]		

Caso o elemento em betão, onde será realizada a ligação possua armadura a prEN1992-4:2013 [2] prevê a dispensa da verificação da rotura por cone de betão. Uma vez dispensada essa verificação, a armadura existente deve possuir capacidade resistente suficiente para o esforço atuante total.

Quadro 4.11 - Procedimentos para a verificação à rotura por cone de betão sob influência de um esforço axial.

1	Quantificação do esforço atuante N_{Ed} [kN]		
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rk,c}$ [kN]		
2.1	Aplica-se a chumbadouros, buchas mecânicas ou químicas.		
2.2	$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \times \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \times \Psi_{s,N} \times \Psi_{re,N} \times \Psi_{ec,N} \times \Psi_{M,N}$ [N]		
2.2.1	$N_{Rk,c}^0 = k_9 \times \sqrt{fck} \times h_{ef}^{1,5}$ [N]		
2.2.1.1	$k_9 = \begin{cases} \text{para buchas mecânicas e químicas} \begin{cases} k_{cr,N} = 7,7 \\ k_{ucr,N} = 11,0 \end{cases} \\ \text{para chumbadouros} \begin{cases} k_{cr,N} = 8,9 \\ k_{ucr,N} = 12,7 \end{cases} \end{cases}$		
2.2.2	$A_{c,N}^0 = s_{cr,N}^2$, com $s_{cr,N} = 3h_{ef}$ [mm ²]		
2.2.3	$A_{c,N}$ – determinado com recurso ao AutoCAD para cada caso, tendo em conta o tipo de ligação e as suas características geométricas. [mm ²]		
2.2.4	$\Psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \times \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1$		
2.2.5	$\Psi_{re,N} = 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1$		
2.2.6	$\Psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2 \times e_N/s_{cr,N}} \leq 1$		
2.2.7	$\Psi_{M,N} = \begin{cases} 1, \text{dispositivos de ancoragem próximos do bordo } (c < 1,5h_{ef}), \\ \text{dispositivos com } c \geq 1,5h_{ef} \text{ sob a ação de um momento fletor e com} \\ \text{esforço } C_{Ed}/N_{Ed} < 0,8 \text{ ou dispositivos com } z/h_{ef} \geq 1,5 \\ 2 - 0,67 \times z/h_{ef} \geq 1, \text{ para todos os dispositivos de ancoragem sob} \\ \text{ação de um momento fletor e um esforço normal} \end{cases}$		
3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Mc} = 1,5$		
4	Determinação da capacidade resistente $N_{Rd,c}$ [kN]		

No caso da ligação aço-betão possuir três ou mais distâncias ao bordo inferiores a $c_{cr,N}$ para a utilização das expressões descritas devem-se substituir os parâmetros h_{ef} por h'_{ef} para se determinarem valores de resistência mais precisos.

Para dispositivos de ancoragem individual: $h'_{ef} = \frac{c_{max}}{c_{cr,N}} \times h_{ef}$, sendo c_{max} a distância máxima entre o centro de um dispositivo de ancoragem e o bordo do elemento de betão armado $\leq c_{cr,N}$. Para grupos de dispositivos de ancoragem: $h'_{ef} = \left\{ \frac{c_{max}}{c_{cr,N}} \times h_{ef}; \frac{s_{max}}{s_{cr,N}} \times h_{ef} \right\}$ sendo s_{max} o espaçamento máximo entre dois dispositivos de ancoragem $\leq s_{cr,N}$.

Substituindo h_{ef} por h'_{ef} , os valores de $c_{cr,N}$ e $s_{cr,N}$ também devem ser substituídos por $s'_{cr,N} = 2c'_{cr,N} = s_{cr,N} \times \frac{h'_{ef}}{h_{ef}}$.

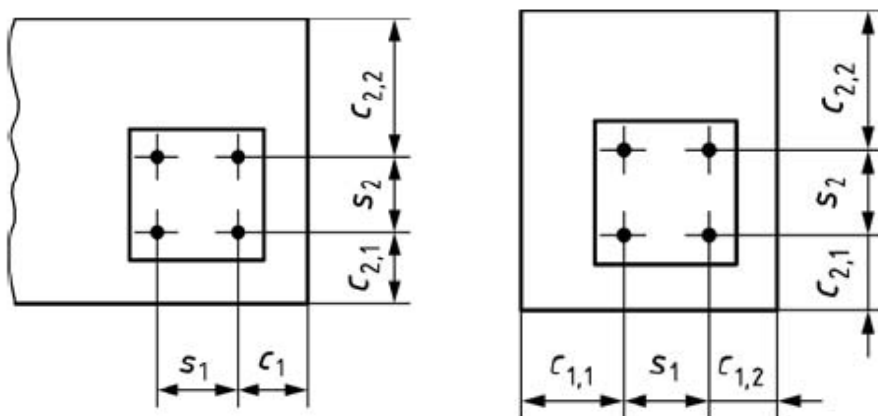


Figura 4.7 - Exemplos de casos onde será necessário proceder à substituição de h_{ef} por h'_{ef} . [2]

Quadro 4.12 - Procedimentos para a verificação à rotura por “*splitting*” sob influência de um esforço axial.

1	Quantificação do esforço atuante N_{Ed} [kN]	
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rk,sp}$ [kN]	
	2.1	Aplica-se a chumbadouros, buchas mecânicas ou químicas.
	2.2	$N_{Rk,sp} = N_{Rk,sp}^0 \times \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \times \Psi_{s,N} \times \Psi_{re,N} \times \Psi_{ec,N} \times \Psi_{h,sp}$ [N]
	2.2.1	$N_{Rk,sp}^0 = \begin{cases} \min\{N_{Rk,p}, N_{Rk,c}^0\} & \text{para buchas mecânicas e chumbadouros} \\ \min\{N_{Rk,p}^0, N_{Rk,c}^0\} & \text{para buchas químicas} \end{cases}$ [N]
	2.2.2	$A_{c,N}^0 = s_{cr,N}^2, s_{cr,N} = 4h_{ef}$
	2.2.3	$\Psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \times \frac{c}{c_{cr,sp}} \leq 1$, com $c_{cr,sp} = 1,5h_{min}$
	2.2.4	$\Psi_{re,N} = 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1$
	2.2.5	$\Psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2 \times e_N / s_{cr,sp}} \leq 1$, com $s_{cr,sp} = 3h_{min}$
	2.2.6	$\Psi_{h,sp} = \left(\frac{h}{h_{min}}\right)^{2/3} \leq \max\left\{1; \left(\frac{h_{ef} + 1,5c_1}{h_{min}}\right)^{2/3}\right\} \leq 2$ h_{min} – Determinado através das expressões do quadro 16.1 do <i>fib</i> [12]
3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Msp} = \gamma_{Mc} = 1,5$	
4	Determinação da capacidade resistente $N_{Rd,sp}$ [kN]	

A prEN1992-4:2013 [2] dispensa a verificação ao fenómeno de “*blow-out*” para buchas mecânicas e químicas e no caso de chumbadouros quando $c > 1,5h_{ef}$.

Quadro 4.13 - Procedimentos para a verificação à rotura por “*blow-out*” sob influência de um esforço axial.

1	Quantificação do esforço atuante N_{Ed} [kN]	
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rk,cb}$ [kN]	
	2.1	Aplica-se apenas a chumbadouros onde $c < 1,5h_{ef}$

2.2	$N_{Rk,cb} = N_{Rk,cb}^0 \times \frac{A_{c,Nb}}{A_{c,Nb}^0} \times \Psi_{s,Nb} \times \Psi_{g,Nb} \times \Psi_{ec,Nb} \text{ [N]}$	
2.2.1	$N_{Rk,cb}^0 = k_4 \times c_1 \times \sqrt{A_h} \times \sqrt{f_{ck}} \text{ [N]}$	
2.2.2.1	$k_4 = \begin{cases} 8,7 & \text{para betão fendilhado} \\ 12,2 & \text{para betão não fendilhado} \end{cases}$	
2.2.2	$A_{c,Nb}^0 = (4c_1)^2 \text{ [mm}^2\text{]}$	
2.2.3	$A_{c,Nb}$ - Determinado com recurso ao AutoCAD para cada caso, tendo em conta o tipo de ligação e as suas características geométricas. $\text{[mm}^2\text{]}$	
2.2.4	$\Psi_{s,Nb} = 0,7 + 0,3 \times \frac{c_2}{2c_1} \leq 1$	
2.2.5	$\Psi_{g,Nb} = \sqrt{n} + (1 - \sqrt{n}) \times \frac{s_1}{4c_1} \geq 1, \text{ com } s_1 \leq 4c_1$	
2.2.6	$\Psi_{ec,Nb} = \frac{1}{1 + 2 \times e_N / (4c_1)}$	
3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Mc} = 1,5$	
4	Determinação da capacidade resistente $N_{Rd,cb} \text{ [kN]}$	

Quadro 4.14 - Procedimentos para a verificação à rotura do aço da armadura existente sob influência de um esforço axial.

1	Quantificação do esforço atuante $N_{Ed,re} \text{ [kN]}$	
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rk,re} \text{ [kN]}$	
2.1	Aplica-se a chumbadouros, buchas mecânicas ou químicas.	
2.2	$N_{Rk,re} = n_{re} \times A_{s,re} \times f_{yk,re}, \text{ com } f_{yk} \leq 600 \text{ N/mm}^2 \text{ [N]}$	
3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Ms,re} = 1,15$	
4	Determinação da capacidade resistente $N_{Rd,re} \text{ [kN]}$	

Quadro 4.15 - Procedimentos para a verificação à rotura da ancoragem da armadura existente no elemento de betão sob influência de um esforço axial.

1	Quantificação do esforço atuante $N_{Ed,re}$ [kN]		
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rd,a}$ [kN]		
	2.1	Aplica-se a chumbadouros, buchas mecânicas ou químicas.	
	2.2	$N_{Rd,a} = \sum_{n_{re}} \frac{l_1 \times \pi \times d_s \times f_{bd}}{\alpha} [N]$	
	2.2.1	$l_1 \geq \begin{cases} l_{b,min} = 4d_s, \text{ para varões dobrados em "gancho"} \\ 10d_s, \text{ para varões "direitos"} \end{cases}$	
	2.2.2	$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd}$ [N/mm ²] segundo o EC2 [6]	
	2.2.3	$\alpha = \begin{cases} 0,7 \text{ para varões dobrados em "gancho"} \\ 1,0 \text{ para varões "direitos"} \end{cases}$	

4.5.2.2 Esforço de Corte

As verificações necessárias a realizar para estes tipos de dispositivos de ancoragem são expostas no Quadro 4.16.

Quadro 4.16 - Quadro-Resumo das verificações previstas para esforço de corte. [2]

	Dispositivo de ancoragem		
	Individual	Mais esforçado	Em grupo
Rotura do aço pelo dispositivo de ancoragem sem efeito de alavanca	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s,m}}{\gamma_{Ms}}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s,m}}{\gamma_{Ms}}$	

Rotura do aço pelo dispositivo de ancoragem com efeito de alavanca	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	
Rotura do betão pelo bordo	$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$		$V_{Ed}^g \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$
Rotura do betão por “<i>pry-out</i>”	$V_{Ed} \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}}$		$V_{Ed}^g \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}}$
Rotura do aço da armadura existente no elemento de betão	$V_{Ed,re} \leq V_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$	$V_{Ed,re}^h \leq V_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$	
Rotura da ancoragem da armadura existente no elemento de betão	$V_{Ed,re} \leq N_{Rd,a}$	$V_{Ed,re}^h \leq N_{Rd,a}$	

Para cada modo de rotura serão apresentados os procedimentos que permitem quantificar os parâmetros intervenientes em cada equação do Quadro 4.16.

Quadro 4.17 - Procedimentos para a verificação à rotura do aço sem efeito de alavanca sob influência de um esforço de corte.

1	Quantificação do esforço atuante V_{Ed} [kN]	
2	Determinação da capacidade resistente $V_{Rk,s,m}$ [kN]	
	2.1	Aplica-se a chumbadouros, buchas mecânicas ou químicas.
	2.2	Em caso de chumbadouros: $V_{Rk,s} = k_{50} \times A_s \times f_{uk}$ [N] Para dispositivos de ancoragem com um rácio $h_{ef}/d < 5$ e para classe de betão inferiores a C20/25, o valor de $V_{Rk,s}$ deve ser multiplicado por 0,8.
	2.2.1	$k_{50} = \begin{cases} 0,6, & f_{uk} \leq 500 \text{ N/mm}^2 \\ 0,5, & 500 \text{ N/mm}^2 < f_{uk} < 1000 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$

	<p>Em caso de chumbadouros:</p> <p>Para ligações que possuam uma camada de argamassa não retrátil com espessura $t_{grout} \leq d/2$:</p> $V_{Rk,s,m} = k_{51} \times V_{Rk,s}, k_{51} = \begin{cases} 1, \text{aço dúctil} \\ 0,8, \text{aço não dúctil} \end{cases} \text{ [N]}$ <p>2.3 Para ligações com dois ou mais dispositivos de ancoragem localizados em betão não fendilhado, dispostos na direção da ação de corte e com uma camada de argamassa não retrátil de espessura $t_{grout} \leq 40\text{mm}$:</p> $V_{Rk,s,m} = (1 - 0,01 \times t_{grout}) \times k_{51} \times V_{Rk,s} \text{ [N]}$ <p>Ou no caso de não existir informação suficiente para aplicações em betão fendilhado adotar:</p> $V_{Rk,s,m} = (1 - 0,015 \times t_{grout}) \times k_{51} \times V_{Rk,s} \text{ [N]}$
	<p>2.4 Em caso de buchas químicas ou mecânicas, consultar a respetiva ETA do produto.</p>
3	<p>Aplicação do coeficiente parcial</p> $\gamma_{Ms} = \begin{cases} 1,0 \times f_{uk}/f_{yk} \geq 1,25 \text{ quando } f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2 \text{ e } f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8 \\ 1,5 \text{ quando } f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2 \text{ ou } f_{yk}/f_{uk} > 0,8 \end{cases}$
4	Determinação da capacidade resistente $V_{Rd,s}$ [kN]

Quadro 4.18 - Procedimentos para a verificação à rotura do aço com efeito de alavanca sob influência de um esforço de corte.

1	Quantificação do esforço atuante V_{Ed} [kN]
2	Determinação da capacidade resistente $V_{Rk,s}$ [kN]
2.1	Aplica-se a chumbadouros, buchas mecânicas ou químicas.
2.2	$V_{Rk,s} = \frac{\alpha_M \times M_{Rk,s}}{l} \text{ [N]}$

	2.2.1	$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \times (1 - N_{Ed}/N_{Rd,s}), \text{ com } N_{Rd,s} = N_{Rk,s}/\gamma_{Ms} \text{ [Nm]}$
3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Ms} =$ $\begin{cases} 1,0 \times f_{uk}/f_{yk} \geq 1,25 \text{ quando } f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2 \text{ e } f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8 \\ 1,5 \text{ quando } f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2 \text{ ou } f_{yk}/f_{uk} > 0,8 \end{cases}$	
4	Determinação da capacidade resistente $V_{Rd,s}$ [kN]	

Quadro 4.19 - Procedimentos para a verificação à rotura do betão pelo bordo sob influência de um esforço de corte.

1	Quantificação do esforço atuante V_{Ed} [kN]		
2	Determinação da capacidade resistente $V_{Rk,c}$ [kN]		
	2.1	Aplica-se a chumbadouros, buchas mecânicas ou químicas.	
	2.2	$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \times \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \times \Psi_{s,V} \times \Psi_{h,V} \times \Psi_{ec,V} \times \Psi_{\alpha,V} \times \Psi_{re,V} \text{ [N]}$	
	2.2.1	$V_{Rk,c}^0 = k_5 \times d_{nom}^\alpha \times l_f^\beta \times \sqrt{f_{ck}} \times c_1^{1,5} \text{ [N]}$	
		2.2.1.1	$k_5 = \begin{cases} 1,7 \text{ para betão fendilhado} \\ 2,4 \text{ para betão não fendilhado} \end{cases}$
		2.2.1.2	$\alpha = 0,1 \times \left(\frac{l_f}{c_1}\right)^{0,5}$
		2.2.1.3	$\beta = 0,1 \times \left(\frac{d_{nom}}{c_1}\right)^{0,2}$
		2.2.1.4	$l_f = \begin{cases} h_{ef} \text{ para dispositivos de diâmetro uniforme em todo o} \\ \text{comprimento do dispositivo de ancoragem} \\ \leq 12d_{nom} \text{ para dispositivos com } d_{nom} \leq 24 \\ \leq \max(8d_{nom}, 300\text{mm}) \text{ para dispositivos com } d_{nom} > 24 \end{cases}$
		2.2.1.5	$d_{nom} \leq 60\text{mm} \text{ [mm]}$
	2.2.2	$A_{c,V}^0 = 4,5c_1^2 \text{ [mm}^2\text{]}$	

	2.2.3	$A_{c,V}$ - Determinado com recurso ao AutoCAD para cada caso, tendo em conta o tipo de ligação e as suas características geométricas. [mm ²]
	2.2.4	$\Psi_{s,V} = 0,7 + 0,3 \times \frac{c_2}{1,5c_1} \leq 1$
	2.2.5	$\Psi_{h,V} = \left(\frac{1,5c_1}{h}\right)^{0,5} \geq 1$
	2.2.6	$\Psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + 2 \times e_V/(3c_1)} \leq 1$
	2.2.7	$\Psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_V)^2 + (0,5 \times \sin \alpha_V)^2}} \geq 1$
	2.2.8	$\Psi_{re,V} = \begin{cases} 1,0 \text{ para ligações em betão não fendilhado e fendilhado sem} \\ \text{reforço do bordo} \\ 1,4, \text{ para ligações em betão fendilhado com reforço no bordo} \end{cases}$
3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Mc} = 1,5$	
4	Determinação da capacidade resistente $V_{Rd,c}$ [kN]	

Quadro 4.20 - Procedimentos para a verificação à rotura do betão “*pry-out*” sob influência de um esforço de corte.

1	Quantificação do esforço atuante V_{Ed} [kN]	
2	Determinação da capacidade resistente $V_{Rk,cp}$ [kN]	
	2.1	Aplica-se a chumbadouros, buchas mecânicas ou químicas.
	2.2	$V_{Rk,cp} = k_3 \times N_{Rk,c}$ [N]
	2.2.1	$k_3 = \begin{cases} 1 \text{ para } h_{ef} < 60mm \\ 2 \text{ para } h_{ef} \geq 60mm \end{cases}$
3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Mc} = 1,5$	
4	Determinação da capacidade resistente $V_{Rd,cp}$ [kN]	

Quadro 4.21 - Procedimentos para a verificação à rotura do aço da armadura existente sob influência de um esforço de corte.

1	Quantificação do esforço atuante $V_{Ed,re}$ [kN]	
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rk,re}$ [kN]	
	2.1	Aplica-se a chumbadouros, buchas mecânicas ou químicas.
	2.2	$N_{Rk,re} = k_6 \times n_{re} \times A_{s,re} \times f_{yk,re}$, com $f_{yk} \leq 600 \text{ N/mm}^2$ [N]
	2.2.1	$k_6 = \begin{cases} 1, \text{armadura na face do elemento de betão} \\ 0,5, \text{armadura em forma de estribos} \end{cases}$
3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Ms,re} = 1,15$	
4	Determinação da capacidade resistente $V_{Rd,re}$ [kN]	

Quadro 4.22 - Procedimentos para a verificação à rotura da ancoragem da armadura existente no elemento de betão sob influência de um esforço de corte.

1	Quantificação do esforço atuante $V_{Ed,re}$ [kN]	
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rd,a}$ [kN]	
	2.1	Aplica-se a chumbadouros, buchas mecânicas ou químicas.
	2.2	$N_{Rd,a} = \sum_{n_{re}} \frac{l_1 \times \pi \times d_s \times f_{bd}}{\alpha} \text{ [N]}$
	2.2.1	$l_1 \geq \begin{cases} l_{b,min} = 4d_s, \text{para varões dobrados em "gancho"} \\ 10d_s, \text{para varões "direitos"} \end{cases}$
	2.2.2	$\alpha = \begin{cases} 0,7 \text{ para varões dobrados em "gancho"} \\ 1,0 \text{ para varões "direitos"} \end{cases}$

4.5.2.3 Combinação dos esforços axiais e de corte

As verificações associadas aos modos de rotura para o aço e betão são realizadas separadamente. Todas as verificações devem ser cumpridas.

4.5.2.3.1 Ligações aço-betão sem existência de armadura no elemento de betão

As verificações previstas no Quadro 4.23 aplicam-se a dispositivos de ancoragem onde estejam aplicados esforços axiais e de corte.

Quadro 4.23 - Verificações para combinação dos esforços axiais e corte sem existência de armadura no elemento de betão. [2]

	Verificação
Rotura do aço	$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,s}}\right)^2 \leq 1 \text{ com } \begin{cases} N_{Ed}/N_{Rd,s} \leq 1 \\ V_{Ed}/V_{Rd,s} \leq 1 \end{cases}$ <p>Se N_{Ed} e V_{Ed} estiverem associados a diferentes dispositivos de ancoragem, deve-se verificar todos os dispositivos.</p>
Restantes modos de rotura	$\begin{cases} \left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,i}}\right)^{1,5} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,i}}\right)^{1,5} \leq 1 \\ \left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,i}}\right) + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,i}}\right) \leq 1,2 \end{cases} \text{ com } \begin{cases} N_{Ed}/N_{Rd,s} \leq 1 \\ V_{Ed}/V_{Rd,s} \leq 1 \end{cases}$ <p>Deve ser adotado o maior valor de $N_{Ed}/N_{Rd,i}$ e de $V_{Ed}/V_{Rd,i}$ para os diferentes modos de rotura.</p>

4.5.2.3.2 Ligações aço-betão com existência de armadura no elemento de betão.

Para dispositivos onde estejam aplicados apenas esforços axiais ou esforços de corte o Quadro 4.24 traduz as verificações necessárias a realizar.

Quadro 4.24 - Verificações para apenas esforços axiais ou esforços de corte com existência de armadura no elemento de betão. [2]

	Verificação
Modos de rotura	$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,i}}\right)^{k_7} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,i}}\right)^{k_7} \leq 1$ $\text{com } \begin{cases} N_{Rd,i} = \min\{N_{Rd,c}; N_{Rd,p}; N_{Rd,cb}\} \\ V_{Rd,i} = \min\{V_{Rd,c}; V_{Rd,cp}\} \\ N_{Ed}/N_{Rd,i} \leq 1 \\ V_{Ed}/V_{Rd,i} \leq 1 \\ k_7 = 2/3 \end{cases}$

4.5.3 Canais de ancoragem

4.5.3.1 Esforço Axial

As verificações necessárias a realizar para estes tipos de dispositivos de ancoragem são expostas no Quadro 4.25. Caso exista armadura no local da ligação, a prEN1992-4:2013 [2] prevê que a verificação à rotura por cone de betão é desnecessária, sendo que para esse efeito a armadura existente deve ter capacidade resistente para o total da carga atuante.

Quadro 4.25 - Quadro-Resumo das verificações previstas para Esforço Axial.[2]

		Canal de ancoragem	Canal de ancoragem ou ancoragem mais desfavorável
Rotura do aço	Ancoragem		$N_{Ed} \leq N_{Rd,s,a} = \frac{N_{Rk,s,a}}{\gamma_{Ms}}$
	Ligação entre ancoragem e canal		$N_{Ed} \leq N_{Rd,s,c} = \frac{N_{Rk,s,c}}{\gamma_{Ms,ca}}$
	Flexão das abas do canal	$N_{Ed} \leq N_{Rd,s,l} = \frac{N_{Rk,s,l}}{\gamma_{Ms,l}}$	
	Parafuso da ligação		$N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$
	Flexão do canal	$M_{Ed} \leq M_{Rd,s,flex} = \frac{M_{Rk,s,flex}}{\gamma_{Ms,flex}}$	
Rotura por “pull-out”			$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$
Rotura por cone de betão			$N_{Ed} \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mp}}$
Rotura por “splitting”			$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}$
Rotura por “blow-out”			$N_{Ed} \leq N_{Rd,cb} = \frac{N_{Rk,cb}}{\gamma_{Mc}}$
Rotura do aço da armadura existente no elemento de betão			$N_{Ed,re} \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$
Rotura da ancoragem da armadura existente no elemento de betão			$N_{Ed,re} \leq N_{Rd,a}$

Com exceção das verificações da rotura do aço (flexão das abas do canal, parafuso da ligação e flexão do canal), todas as restantes verificações associadas ao esforço axial são dispensadas pela prEn1992-4:2013 [2] caso os dispositivos de ancoragem se encontrem a $c > 0,5h_{ef}$.

A verificação da rotura do aço (flexão das abas do canal) deve ser realizada para o dispositivo de ancoragem mais carregado.

Para cada modo de rotura serão apresentados os procedimentos que permitem quantificar os parâmetros intervenientes em cada equação do Quadro 4.25.

Quadro 4.26 - Procedimentos para a verificação da rotura ao aço sob influência de um esforço axial.

1	Quantificação do esforço atuante N_{Ed} [kN]	
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rk,s,a}$, $N_{Rk,s,c}$, $N_{Rk,s,l}$, $N_{Rk,s}$ e $M_{Rk,s,flex}$ através da consulta da ETA para os diferentes tipos de canais de ancoragem existentes.	
3	Aplicação do coeficiente parcial:	
	3.1	$\gamma_{Ms} = 1,2 \times f_{uk}/f_{yk} \geq 1,4$
	3.2	$\gamma_{Ms,ca} = \gamma_{Ms,l} = 1,8$
	3.3	$\gamma_{Ms,flex} = 1,15$
4	Determinação da capacidade resistente $N_{Rd,s,a}$, $N_{Rd,s,c}$, $N_{Rd,s,l}$, $N_{Rd,s}$ e $M_{Rd,s,flex}$	

Quadro 4.27 - Procedimentos para a verificação da rotura por “pull-out” sob influência de um esforço axial.

1	Quantificação do esforço atuante N_{Ed} [kN]
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rk,p}$, através da consulta da ETA para os diferentes tipos de canais de ancoragem existentes. [kN]
3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Mp} = 1,5$
4	Determinação da capacidade resistente $N_{Rd,p}$ [kN]

Quadro 4.28 - Procedimentos para a verificação da rotura por cone de betão sob influência de um esforço axial.

1	Quantificação do esforço atuante N_{Ed} [kN]
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rk,c}$ [kN]
2.1	$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \times \Psi_{ch,s,N} \times \Psi_{ch,e,N} \times \Psi_{ch,c,N} \times \Psi_{re,N}$ [N]
2.1.1	$N_{Rk,c}^0$, ver Quadro 4.11 - Procedimentos para a verificação à rotura por cone de betão sob influência de um esforço
2.1.2	$\Psi_{ch,s,N} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{n_{ch}} \left[\left(1 - \frac{s_i}{s_{cr,N}} \right)^{1,5} \times \frac{N_i}{N_0} \right]} \leq 1$
2.1.2.1	$s_{cr,N} = 2 \times (2,8 - 1,3 \times h_{ef}/180) \times h_{ef} \geq 3h_{ef}$ [mm ²]
2.1.3	$\Psi_{ch,e,N} = \left(\frac{c_1}{c_{cr,N}} \right)^{0,5} \leq 1$, onde c_1 deve ser o valor mínimo no caso de existirem duas distâncias ao bordo diferentes.
2.1.3.1	$c_{cr,N} = 0,5 \times s_{cr,N}$
2.1.4	$\Psi_{ch,c,N} = \left(\frac{c_2}{c_{cr,N}} \right)^{0,5} \leq 1$, no caso de existirem dois cantos deve ser calculado a expressão para $c_{2,1}$ e $c_{2,2}$ e o produto dos dois $\Psi_{ch,c,N}$ deve ser introduzido na equação do ponto 2.1 do presente quadro.
2.1.5	$\Psi_{re,N}$, ver quadro Quadro 4.11 - Procedimentos para a verificação à rotura por cone de betão sob influência de um esforço

3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Mc} = 1,5$
4	Determinação da capacidade resistente $N_{Rd,c}$ [kN]

Quadro 4.29 - Procedimentos para a verificação da rotura por “*splitting*” sob influência de um esforço axial.

1	Quantificação do esforço atuante N_{Ed} [kN]
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rk,sp}$ [kN]
2.1	$N_{Rk,sp} = N_{Rk}^0 \times \Psi_{ch,s,N} \times \Psi_{ch,e,N} \times \Psi_{ch,c,N} \times \Psi_{re,N} \times \Psi_{h,sp}$ [N]
2.1.1	$N_{Rk}^0 = \min(N_{Rk,p}^0, N_{Rk,c}^0)$ [N]
2.1.1.1	$N_{Rk,p}^0$ ver quadro Quadro 4.10 - Procedimentos para a verificação à
2.1.1.2	$N_{Rk,c}^0$, ver quadro Quadro 4.11 - Procedimentos para a verificação à rotura por cone de betão sob influência de um esforço
2.1.2	$\Psi_{ch,s,N} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{n_{ch}} \left[\left(1 - \frac{s_i}{s_{cr,N}} \right)^{1,5} \times \frac{N_i}{N_0} \right]} \leq 1$
2.1.2.1	$s_{cr,N} = 2 \times (2,8 - 1,3 \times h_{ef}/180) \times h_{ef} \geq 3h_{ef}$ [mm]
2.1.3	$\Psi_{ch,e,N} = \left(\frac{c_1}{c_{cr,N}} \right)^{0,5} \leq 1$, onde c_1 deve ser o valor mínimo no caso de existirem duas distâncias ao bordo diferentes.
2.1.3.1	$c_{cr,N} = 0,5 \times s_{cr,N}$ [mm]
2.1.4	$\Psi_{ch,c,N} = \left(\frac{c_2}{c_{cr,N}} \right)^{0,5} \leq 1$, no caso de existirem dois cantos deve ser calculado a expressão para $c_{2,1}$ e $c_{2,2}$ e o produto dos dois $\Psi_{ch,c,N}$ deve ser introduzido na equação do ponto 2.1 do presente quadro.
2.1.5	$\Psi_{re,N}$, ver quadro Quadro 4.11 - Procedimentos para a verificação à rotura por cone de betão sob influência de um esforço
2.1.6	$\Psi_{h,sp}$, ver Quadro 4.12 - Procedimentos para a verificação à rotura por “ <i>splitting</i> ” sob influência de um esforço axial.
3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Msp} = 1,5$

4	Determinação da capacidade resistente $N_{Rd,sp}$ [kN]
---	--

Quadro 4.30 - Procedimentos para a verificação da rotura por “*blow-out*” sob influência de um esforço axial.

1	Quantificação do esforço atuante N_{Ed} [kN]
2	Determinação da capacidade resistente $N_{Rk,cb}$ [kN]
2.1	$N_{Rk,cb} = N_{Rk,cb}^0 \times \Psi_{ch,s,Nb} \times \Psi_{ch,g,Nb} \times \Psi_{ch,c,Nb} \times \Psi_{ch,h,Nb}$ [N]
2.1.1	$N_{Rk,cb}^0$, ver Quadro 4.13 - Procedimentos para a verificação à rotura por “ <i>blow-out</i> ” sob influência de um esforço axial.
2.1.2	$\Psi_{ch,s,Nb} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{n_{ch}} \left[\left(1 - \frac{s_i}{s_{cr,N}} \right)^{1,5} \times \frac{N_i}{N_0} \right]} \leq 1$
2.1.2.1	$s_{cr,Nb} = 4c_1$
2.1.3	$\Psi_{ch,g,Nb}$, ver Quadro 4.13 - Procedimentos para a verificação à rotura por “ <i>blow-out</i> ” sob influência de um esforço axial.
2.1.4	$\Psi_{ch,c,Nb} = \left(\frac{c_2}{c_{cr,Nb}} \right)^{0,5} \leq 1$, no caso de existirem dois cantos deve ser calculado a expressão para $c_{2,1}$ e $c_{2,2}$ e o produto dos dois $\Psi_{ch,c,N}$ deve ser introduzido na equação do ponto 2.1 do presente quadro.
2.1.5	$\Psi_{ch,h,Nb} = \frac{h_{ef} + f}{4c_1} \leq \frac{2c_1 + f}{4c_1} \leq 1$
3	Aplicação do coeficiente parcial: $\gamma_{Mc} = 1,5$
4	Determinação da capacidade resistente $N_{Rd,cb}$ [kN]

As verificações previstas para os canais de ancoragem no que diz respeito à existência de armadura no local da ligação são iguais às expostas no Quadro 4.14 e Quadro 4.15.

4.5.3.2 Esforço de Corte

A prEN1992-4:2013 [2] prevê que para ligações aço-betão onde não exista armadura no elemento de betão, as verificações necessárias sejam a rotura do aço sem efeito de alavanca (parafuso da ligação, ancoragem, ligação entre ancoragem e canal, flexão das abas do canal), a rotura do aço com efeito de alavanca (parafuso da ligação), rotura por “*pry-out*” e rotura do betão pelo bordo. Em caso contrário, além das verificações enunciadas, dever-se-á verificar a rotura do betão pelo bordo, a rotura do aço da armadura existente no elemento de betão e a rotura da ancoragem da armadura existente no elemento de betão.

Quadro 4.31 - Quadro-Resumo das verificações previstas para esforço de corte. [2]

			Canal de ancoragem	Canal de ancoragem ou ancoragem mais desfavorável
Rotura do aço (efeito de alavanca)	Sem	Parafuso da ligação		$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$
		Ancoragem		$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,a} = \frac{V_{Rk,s,a}}{\gamma_{Ms}}$
		Ligação entre ancoragem e canal		$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,c} = \frac{V_{Rk,s,c}}{\gamma_{Ms}}$
		Flexão das abas do canal	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,l} = \frac{V_{Rk,s,l}}{\gamma_{Ms,l}}$	
	Com	Parafuso da ligação		$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$
	Rotura por “ <i>pry-out</i> ”			
Rotura do betão pelo bordo				$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$
Rotura do aço da armadura existente no elemento de betão				$V_{Ed,re} \leq V_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$
Rotura da ancoragem da armadura existente no elemento de betão				$V_{Ed,re} \leq N_{Rd,a}$

Quadro 4.32 - Procedimentos para a verificação da rotura ao aço sem efeito de alavanca sob influência de um esforço de corte.

1	Quantificação do esforço atuante V_{Ed} [kN]	
2	Determinação da capacidade resistente $V_{Rk,s}$, $V_{Rk,s,a}$, $V_{Rk,s,c}$, e $V_{Rk,s,l}$ através da consulta da ETA para os diferentes tipos de canais de ancoragem existentes. [kN]	
3	Aplicação do coeficiente parcial:	
	3.1	$\gamma_{Ms} = \begin{cases} 1,0 \times f_{uk}/f_{yk} \geq 1,25 \text{ quando } f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2 \text{ e } f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8 \\ 1,5 \text{ quando } f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2 \text{ ou } f_{yk}/f_{uk} > 0,8 \end{cases}$
	3.2	$\gamma_{Ms,l} = 1,8$
4	Determinação da capacidade resistente $V_{Rd,s}$, $V_{Rd,s,a}$, $V_{Rd,s,c}$ e $V_{Rd,s,l}$. [kN]	

Quadro 4.33 - Procedimentos para a verificação da rotura ao aço com efeito de alavanca sob influência de um esforço de corte.

1	Quantificação do esforço atuante V_{Ed} [kN]	
2	Determinação da capacidade resistente $V_{Rk,s}$ [N]	
	2.1	$V_{Rk,s} = \frac{\alpha_M \times M_{Rk,s}}{l_a} \text{ [N]}$
		2.1.1 $\alpha_M = \begin{cases} 1,0 \text{ (rotação livre)} \\ 2,0 \text{ (encastrada)} \end{cases}$
		2.1.2 $M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \times (1 - N_{Ed}/N_{Rd,s}) \text{ [Nm]}$
		2.1.2.1 $M_{Rk,s}^0$, através da consulta da ETA para os diferentes tipos de canais de ancoragem existentes. [Nm]
		2.1.2.2 $N_{Rd,s} = N_{Rk,s}/\gamma_{Ms} \text{ [N]}$
3	Aplicação do coeficiente parcial:	

3.1	$\gamma_{Ms} = \begin{cases} 1,0 \times f_{uk}/f_{yk} \geq 1,25 \text{ quando } f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2 \text{ e } f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8 \\ 1,5 \text{ quando } f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2 \text{ ou } f_{yk}/f_{uk} > 0,8 \end{cases}$
4	Determinação da capacidade resistente $V_{Rd,s}$. [kN]

Quadro 4.34 - Procedimentos para a verificação da rotura por “*pry-out*” sob influência de um esforço de corte.

1	Quantificação do esforço atuante V_{Ed} [kN]		
2	Determinação da capacidade resistente $V_{Rk,cp}$ [kN]		
	2.1	$V_{Rk,cp} = k_3 \times N_{Rk,c}$ [N]	
		2.1.1	$k_3 = \begin{cases} 2,0 \text{ (sem armadura existente no elemento de betão)} \\ 2,0 \times 0,75 \text{ (com armadura existente no elemento de betão)} \end{cases}$
		2.1.2	$N_{Rk,c}$, ver Quadro 4.28
3	Aplicação do coeficiente parcial:		
	3.1	$\gamma_{Mc} = 1,5$	
4	Determinação da capacidade resistente $V_{Rd,cp}$. [kN]		

Quadro 4.35 - Procedimentos para a verificação da rotura do betão pelo bordo sob influência de um esforço de corte.

1	Quantificação do esforço atuante V_{Ed} [kN]		
2	Determinação da capacidade resistente $V_{Rk,c}$ [kN]		
	2.1	$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \times \psi_{ch,s,V} \times \psi_{ch,c,V} \times \psi_{ch,h,V} \times \psi_{ch,90^\circ,V} \times \psi_{re,V}$ [N]	
	2.1.1	$V_{Rk,c}^0 = k_{10} \times \sqrt{f_{ck}} \times c_1^{1,5}$ [N]	
	2.1.1.1	$k_{10} = \begin{cases} 2,5 \text{ para betão fendilhado} \\ 3,5 \text{ para betão não fendilhado} \end{cases}$	

		2.1.2	$\psi_{ch,s,V} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \left[\left(1 - \frac{s_i}{s_{cr,V}} \right)^{1,5} \times \frac{V_i}{V_0} \right]} \leq 1$
		2.1.2.1	$s_{cr,V} = 4c_1 + 2b_{ch} \text{ [mm]}$
		2.1.3	$\psi_{ch,c,V} = \left(\frac{c_2}{c_{cr,V}} \right)^{0,5} \leq 1$
		2.1.4	$\psi_{ch,h,V} = \left(\frac{h}{h_{cr,V}} \right)^{0,5} \leq 1$
		2.1.4.1	$h_{cr,V} = 2c_1 + 2h_{ch} \text{ [mm]}$
		2.1.5	$\psi_{ch,90^\circ,V} = 2,5$
		2.1.6	$\psi_{re,V}$, ver Quadro 4.19 - Procedimentos para a verificação à rotura do betão pelo bordo sob influência de um esforço de corte.
3	Aplicação do coeficiente parcial:		
	3.1	$\gamma_{Mc} = 1,5$	
4	Determinação da capacidade resistente $V_{Rd,c}$. [kN]		

As verificações previstas para os canais de ancoragem no que diz respeito à existência de armadura no local da ligação são iguais às expostas no Quadro 4.21 e Quadro 4.22.

4.5.3.3 Combinação dos esforços axiais e de corte

4.5.3.3.1 Ligações aço-betão sem existência de armadura no elemento de betão

As verificações para os modos de rotura do aço e betão devem ser realizadas separadamente sendo que devem ser todas obrigatoriamente cumpridas. As verificações previstas no Quadro 4.36 aplicam-se a dispositivos de ancoragem onde estejam aplicados esforços axiais e de corte.

Quadro 4.36 - Verificações para combinação dos esforços axiais e corte sem existência de armadura no elemento de betão. [2]

		Verificação
Rotura do aço	Parafuso da ligação	$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,s}}\right)^2 \leq 1 \text{ com } \begin{cases} N_{Ed}/N_{Rd,s} \leq 1 \\ V_{Ed}/V_{Rd,s} \leq 1 \end{cases}$
	Restantes elementos	$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s,i}}\right)^{\alpha_1} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,s,i}}\right)^{\alpha_1} \leq 1 \text{ com } \begin{cases} N_{Ed}/N_{Rd,s} \leq 1 \\ V_{Ed}/V_{Rd,s} \leq 1 \end{cases}$ $\alpha_1 = \begin{cases} 2, \text{ para } V_{Rd,s,i} \leq N_{Rd,s,i} \\ \text{ver ETA, para } V_{Rd,s,i} > N_{Rd,s,i} \end{cases}$
Restantes modos de rotura		$\begin{cases} \left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,i}}\right)^{1,5} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,i}}\right)^{1,5} \leq 1 \\ \left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,i}}\right) + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,i}}\right) \leq 1,2 \end{cases} \text{ com } \begin{cases} N_{Ed}/N_{Rd,s} \leq 1 \\ V_{Ed}/V_{Rd,s} \leq 1 \end{cases}$ Deve ser adotado o maior valor de $N_{Ed}/N_{Rd,i}$ e de $V_{Ed}/V_{Rd,i}$ para os diferentes modos de rotura.

4.5.3.3.2 Ligações aço-betão com existência de armadura no elemento de betão.

Para dispositivos localizados junto ao bordo, submetidos apenas a esforços de corte a equação 4.14 traduz a verificação necessária a realizar.

$$\beta_N + \beta_V \leq 1 \text{ com } \begin{cases} \beta_N = N_{Ed}/N_{Rd} \leq 1 \\ \beta_V = V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1 \end{cases} \quad (4.14)$$

4.6 VERIFICAÇÃO AO ESTADO LIMITE ÚLTIMO DE FADIGA

4.6.1 Considerações Gerais

A verificação da segurança de dispositivos de ancoragem ao fenómeno de fadiga deve ser realizada quando estes se encontrem submetidos a cargas cíclicas regulares como por exemplo o movimento exercido por um elevador nos seus carris de apoio. Esta verificação consiste na combinação das verificações previstas para o Estado limite último e verificações previstas para a o fenómeno de fadiga.

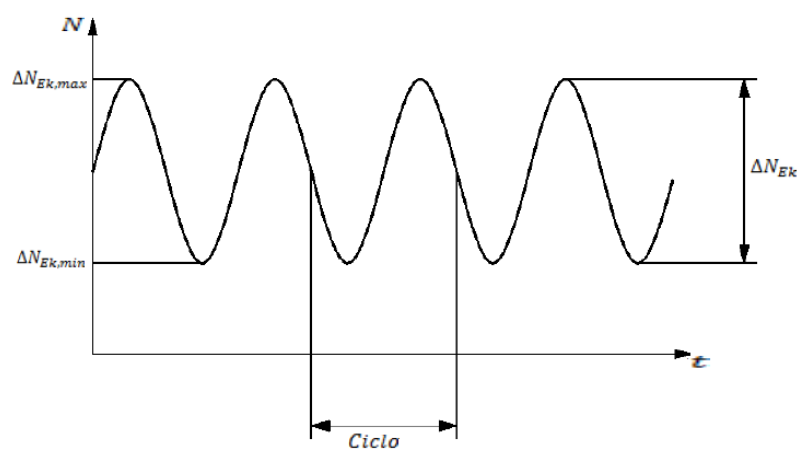


Figura 4.8 - Exemplo de uma carga cíclica regular. [16]

4.6.2 Esforço Axial

O Quadro 4.37 traduz as verificações necessárias a realizar para os esforços axiais.

Quadro 4.37 - Verificações para o Estado limite último de fadiga para esforços axiais.[2]

	Dispositivos de ancoragem		
	Individual	Mais esforçado	Em grupo
Rotura do aço	$\gamma_{F,fat} \times \Delta N_{Ek} \leq \frac{\Delta N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms,N,fat}}$	$\gamma_{F,fat} \times \Delta N_{Ek}^h \leq \frac{\Psi_{FN} \times \Delta N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms,N,fat}}$	
Rotura por “pull-out”	$\gamma_{F,fat} \times \Delta N_{Ek} \leq \frac{\Delta N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp,fat}}$	$\gamma_{F,fat} \times \Delta N_{Ek}^h \leq \frac{\Psi_{FN} \times \Delta N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp,fat}}$	
Rotura por cone de betão	$\gamma_{F,fat} \times \Delta N_{Ek} \leq \frac{\Delta N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc,fat}}$		$\gamma_{F,fat} \times \Delta N_{Ek}^g \leq \frac{\Delta N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc,fat}}$
Rotura por “splitting”	$\gamma_{F,fat} \times \Delta N_{Ek} \leq \frac{\Delta N_{Rk,sp}}{\gamma_{Mc,fat}}$		$\gamma_{F,fat} \times \Delta N_{Ek}^g \leq \frac{\Delta N_{Rk,sp}}{\gamma_{Mc,fat}}$

Rotura por “blow-out”	$\gamma_{F,fat} \times \Delta N_{Ek} \leq \frac{\Delta N_{Rk,cb}}{\gamma_{Mc,fat}}$		$\gamma_{F,fat} \times \Delta N_{Ek}^g \leq \frac{\Delta N_{Rk,cb}}{\gamma_{Mc,fat}}$
$\gamma_{F,fat}, \gamma_{Mc,fat}, \gamma_{Mp,fat}$ Estabelecidos no subcapítulo 4.3 do presente documento			
$\gamma_{Ms,N,fat} = \gamma_{Ms,fat}$ Estabelecido no subcapítulo 4.3 do presente documento			
$\Psi_{FN} \leq 1$, Para grupos de dispositivos de ancoragem, ver Especificações Técnicas Europeias dos Produtos			
$\Delta N_{Rk,s}$ = Resistência à fadiga, ver Especificação Técnica Europeia do Produto			
$\Delta N_{Rk,c} = 0,6 \times N_{Rk,c}$			
$\Delta N_{Rk,p}$ = Resistência à fadiga, ver Especificação Técnica Europeia do Produto			
$\Delta N_{Rk,sp} = 0,6 \times N_{Rk,sp}$			
$\Delta N_{Rk,cb} = 0,6 \times N_{Rk,cb}$			

4.6.3 Esforço de Corte

As verificações previstas pela prEN1992-4:2013 [2], associadas ao fenómeno de fadiga estão expostas no Quadro 4.38.

Quadro 4.38 - Verificações para o Estado limite último de fadiga para esforços de corte. [2]

	Dispositivos de ancoragem		
	Individual	Mais esforçado	Em grupo
Rotura do aço com ou sem “efeito alavanca”	$\gamma_{F,fat} \times \Delta V_{Ek} \leq \frac{\Delta V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms,v,fat}}$	$\gamma_{F,fat} \times \Delta V_{Ek}^h \leq \frac{\Psi_{FV} \times \Delta V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms,v,fat}}$	

Rotura por “pry-out”	$\gamma_{F,fat} \times \Delta V_{Ek} \leq \frac{\Delta V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc,fat}}$		$\gamma_{F,fat} \times \Delta V_{Ek}^g \leq \frac{\Delta V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc,fat}}$
Rotura do betão pelo bordo	$\gamma_{F,fat} \times \Delta V_{Ek} \leq \frac{\Delta V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc,fat}}$		$\gamma_{F,fat} \times \Delta V_{Ek}^g \leq \frac{\Delta V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc,fat}}$
$\gamma_{F,fat}, \gamma_{Mc,fat}$, Estabelecidos no subcapítulo 4.3 do presente documento			
$\gamma_{Ms,V,fat} = \gamma_{Ms,fat}$ Estabelecido no subcapítulo 4.3 do presente documento			
$\Psi_{FV} \leq 1$, Para grupos de dispositivos de ancoragem, ver Especificações Técnicas Europeias dos Produtos			
$\Delta V_{Rk,s}$ = Resistência à fadiga, ver Especificação Técnica Europeia do Produto			
$\Delta V_{Rk,c} = 0,6 \times V_{Rk,c}$			
$\Delta V_{Rk,cp} = 0,6 \times V_{Rk,cp}$			

4.6.4 Combinação de esforços axiais e corte

As verificações previstas pela prEN1992-4:2013 [2] para a combinação de esforços axiais e corte associados ao fenómeno de fadiga traduzem-se pelas seguintes equações:

$$\beta_{N,fat} = \frac{\gamma_{F,fat} \times \Delta N_{Ek}}{\Psi_{FN} \times \Delta N_{Rk} / \gamma_M} \leq 1 \quad (4.15)$$

$$\beta_{V,fat} = \frac{\gamma_{F,fat} \times \Delta V_{Ek}}{\Psi_{FV} \times \Delta V_{Rk} / \gamma_M} \leq 1 \quad (4.16)$$

$$(\beta_{N,fat})^\alpha + (\beta_{V,fat})^\alpha \leq 1 \quad (4.17)$$

$\Psi_{FN}, \Psi_{FV}, \alpha$ – Consultar ETA de cada produto

$$\Delta N_{Ek} = N_{Ek,max} - N_{Ek,min} \quad (4.18)$$

$$\Delta V_{Ek} = V_{Ek,max} - V_{Ek,min} \quad (4.19)$$

$\Delta N_{Rk}, \Delta V_{Rk}$ - Valores mínimos associados aos fenómenos de rotura.

4.7 VERIFICAÇÃO À AÇÃO SÍSMICA

4.7.1 Considerações gerais

O anexo C da prEN1992-4:2013 [2], no que diz respeito à verificação à ação sísmica, distingue as ligações em dois tipos:

- Tipo A: ligação entre elementos estruturais primários e/ ou membros sísmicos secundários;
- Tipo B: ligação entre elementos não estruturais.

Sendo que o tipo B não é relevante para o presente relatório.

No dimensionamento de ligações aço-betão, tendo em conta a ação sísmica, uma das seguintes condições deve ser satisfeita:

- 1) Dimensionamento sem requisitos relacionados com a ductilidade do dispositivo de ancoragem, isto é, não é permitido aos dispositivos a dissipação de energia devido ao seu comportamento dúctil uma vez que não contribuem para o comportamento da estrutura:
 - a) Capacidade de dimensionamento: o dispositivo de ancoragem ou grupo de dispositivos é dimensionado para o valor máximo de esforço axial e/ou corte que pode ser transmitido;
 - b) Dimensionamento elástico: o dispositivo de ancoragem é dimensionado para o valor de carregamento máximo obtido das combinações, que incluem as ações sísmicas, correspondentes ao Estado limite último, assumindo um comportamento elástico do dispositivo de ancoragem e da estrutura.
- 2) Dimensionamento com requisitos relacionados com a ductilidade do dispositivo de ancoragem, onde o dispositivo ou o grupo de dispositivos são dimensionados para as ações, incluindo sísmicas, correspondentes ao Estado limite último. A capacidade do aço à tração deve ser inferior à capacidade resistente do betão relacionado com os modos de rotura.

Na zona da ligação deve-se assumir que o betão se encontra fendilhado.

4.7.2 Categorias de desempenho

O desempenho dos dispositivos de ancoragem associado à ação sísmica divide-se em duas categorias: C1 e C2.

A categoria C1 prevê dispositivos com capacidade resistente apenas para o Estado limite último. Enquanto a categoria C2 prevê abrange os dispositivos com capacidade resistente ao Estado limite último e Estado de limitação de danos (deslocamentos).

O Quadro 4.40 expõe as categorias de desempenho recomendadas tendo em conta o nível de sismicidade e a classe de importância em que se encontra o edifício.

As classes de importância traduzem a classificação dos edifícios em função das consequências do colapso em termos de vidas humanas, da sua importância para a segurança pública e para a proteção civil imediatamente após o sismo e das consequências sociais e económicas do colapso.

Quadro 4.39 - Classes de importância dos edifícios. [17]

Classe de importância	Edifícios
I	Edifícios de importância menor para a segurança pública, como por exemplo edifícios agrícolas, etc.
II	Edifícios correntes, não pertencentes às outras categorias.
III	Edifícios cuja resistência sísmica é importante tendo em vista as consequências associadas ao colapso, como por exemplo escolas, sala de reunião, instituições culturais, etc.
IV	Edifícios cuja integridade em caso de sismo é de importância vital para a proteção civil, como por exemplo hospitais, quartéis de bombeiros, centrais elétricas, etc.

Quadro 4.40 - Categorias de desempenho recomendadas para os diferentes tipos de dispositivos de ancoragem. [17]

Nível de Sismicidade		Classes de importância			
Classe	$a_g \times S$	I	II	III	IV
Muito baixa	$a_g \times S \leq 0,05g$	Sem requisitos adicionais			
Baixa	$0,05 < a_g \times S \leq 0,1g$	C1	C1 ^a ou C2 ^b		C2
> Baixa	$a_g \times S > 0,1g$	C1		C2	

^a Categoria C1 para ligações entre elementos não estruturais a estruturas

^b Categoria C2 para ligações entre elementos estruturais a estruturas

4.7.3 Capacidade resistente

A capacidade resistente de um dispositivo de ancoragem é dado pela equação seguinte.

$$R_{d,eq} = \frac{R_{k,eq}}{\gamma_{M,eq}} \text{ [N]} \quad (4.20)$$

A resistência característica deve ser determinada através da equação 4.21.

$$R_{k,eq} = \alpha_{gap} \times \alpha_{eq} \text{ [N]} \quad (4.21)$$

Quadro 4.41 - Coeficiente de redução α_{eq} . [2]

Tipo de Esforço	Modo de rotura	Dispositivo de ancoragem individual	Grupo de dispositivos de ancoragem
Axial	Rotura do aço	1,0	1,0
	Rotura por “pull-out”	1,0	0,85
	Combinação dos fenómenos de “pull-out” e cone de betão	1,0	0,85
	Rotura por cone de betão - Chumbadouros	1,0	0,85
	- restantes dispositivos	0,85	0,75
	Rotura por “splitting”	1,0	0,85
	Rotura por “blow-out”	1,0	0,85

	Rotura do aço da armadura existente no elemento de betão	1,0	1,0
	Rotura da ancoragem da armadura existente no elemento de betão	0,85	0,75
Corte	Rotura do aço	1,0	0,85
	Rotura do betão pelo bordo	1,0	0,85
	Rotura por “ <i>pry-out</i> ” - Chumbadouros	1,0	0,85
	- Restantes dispositivos	0,85	0,75
	Rotura do aço da armadura existente no elemento de betão	1,0	1,0
	Rotura da ancoragem da armadura existente no elemento de betão	0,85	0,75

4.7.4 Deslocamento

O deslocamento de um dispositivo de ancoragem sob ação de um esforço axial ou corte no Estado de limitação de danos deve ser limitado ao valor $\delta_{N,req(DLS)}$ e $\delta_{V,req(DLS)}$. O valor aceitável para o deslocamento associado a uma ligação rígida é de 3mm.

Se existirem deslocamentos e/ou rotações, relevantes para as ligações aço-betão, no dimensionamento destas deve ser demonstrado que os dispositivos de ancoragem possuem capacidade resistente para suportar essas deformações.

A rotação de uma ligação é dada pela seguinte equação.

$$\theta_p = \delta_{N,eq}/s_{max} \quad (4.22)$$

Se os valores de $\delta_{N,eq(DLS)}$ e de $\delta_{V,eq(DLS)}$ fornecidos na ETA forem superiores aos valores requeridos $\delta_{N,req(DLS)}$ e $\delta_{V,req(DLS)}$, o valor da resistência de cálculo deve ser reduzido, através das equações 4.23 e 4.24.

$$N_{Rd,eq, reduced} = N_{Rd,eq} \times \frac{\delta_{N, req(DLS)}}{\delta_{N, eq(DLS)}} [N] \quad (4.23)$$

$$V_{Rd,eq, reduced} = V_{Rd,eq} \times \frac{\delta_{V, req(DLS)}}{\delta_{V, eq(DLS)}} [N] \quad (4.24)$$

4.8 VERIFICAÇÃO A AÇÕES DE IMPACTO

Segundo a prEN1992-4:2013 [2] as verificações previstas para ações de impacto são as mesmas que as previstas para o Estado limite último de rotura.

4.9 VERIFICAÇÃO À AÇÃO DO FOGO

4.9.1 Considerações gerais

O Anexo D da prEN1992-4:2013 [2] prevê o método de dimensionamento de dispositivos de ancoragem, como os chumbadouros, as buchas mecânicas e químicas e os canais de ancoragem tendo em conta a ação do fogo.

As resistências características sob a exposição ao fogo devem ser consultadas nas Especificações Técnicas Europeias do Produto (ETA). Caso não seja possível obter esses valores, é possível determiná-los através de equações, tendo em conta o modo de rotura associado, tal como será exposto de seguida.

O método descrito prevê a exposição ao fogo apenas por um dos lados dos dispositivos de ancoragem. Para casos em que a exposição ao fogo possa ocorrer por mais de um lado, o método só pode ser aplicado se a distância ao bordo do dispositivo de ancoragem for $c \geq 300 \text{ mm}$ e $c \geq 2h_{ef}$.

Os valores dos coeficientes parciais para as ações e para os materiais são, respetivamente $\gamma_{F,fi} = 1,0$ e $\gamma_{M,fi} = 1,0$.

4.9.2 Verificação da capacidade resistente

4.9.2.1 Esforço Axial

4.9.2.1.1 Rotura do aço

O valor da resistência à tração característica $\sigma_{Rk,s,fi}$ de um dispositivo de ancoragem associado à rotura do aço devido à exposição ao fogo é dado no Quadro 4.42 e Quadro 4.43. Este valor também é válido para a parte não protegida do dispositivo de ancoragem, isto é, a parte que não se encontra embebida no betão.

$$N_{Rk,s,fi} = \sigma_{Rk,s,fi} \times A_s \text{ [N]} \quad (4.25)$$

Quadro 4.42 - Resistência à tração característica de um dispositivo aço carbono exposto à ação do fogo [N/mm²]. [2]

Diâmetro do dispositivo/roscas [mm]	Profundidade de embebimento h_{ef} [mm]	Resistência à tração característica para dispositivos de ancoragem, $\sigma_{Rk,s,fi}$, não protegidos de aço carbono de acordo com a EN 10025 em caso de exposição ao fogo no tempo até:			
		30min (de R15 a R30)	60min (R45 e R60)	90min (R90)	120min ($\leq R120$)
$\phi 6$	≥ 30	10	9	7	5
$\phi 8$	≥ 30	10	9	7	5
$\phi 10$	≥ 40	15	13	10	8
$\phi 12$ ou maior	≥ 50	20	15	13	10

Quadro 4.43 - Resistência à tração característica de um dispositivo aço inoxidável exposto à ação do fogo [N/mm²]. [2]

Diâmetro do dispositivo/roscas [mm]	Profundidade de embebimento h_{ef} [mm]	Resistência à tração característica para dispositivos de ancoragem, $\sigma_{Rk,s,fi}$, não protegidos de aço inoxidável de acordo com a EN 10025 em caso de exposição ao fogo no tempo até:			
		30min (de R15 a R30)	60min (R45 e R60)	90min (R90)	120min ($\leq R120$)
$\phi 6$	≥ 30	10	9	7	5
$\phi 8$	≥ 30	20	16	12	10
$\phi 10$	≥ 40	25	20	16	14
$\phi 12$ ou maior	≥ 50	30	25	20	16

4.9.2.1.2 Rotura por “pull-out”/ “pull-trough”

A resistência característica de dispositivos de ancoragem instalados em betão cujas classes pertençam ao intervalo de C20/25 a C50/60 inclusive, deve ser determinada a partir das seguintes equações.

$$N_{Rk,p,fi(90)} = 0,25 \times N_{Rk,p}, \text{ para uma exposição ao fogo até 90min [N]} \quad (4.26)$$

$$N_{Rk,p,fi(120)} = 0,20 \times N_{Rk,p}, \text{ para uma exposição ao fogo entre 90 min a 120min [N]} \quad (4.27)$$

4.9.2.1.3 Rotura por cone de betão

A resistência característica de um só dispositivo de ancoragem $N_{Rk,c,fi}^0$, não influenciada por dispositivos de ancoragem adjacentes ou bordos do elemento de betão, instalado em betão cuja classe pertença ao intervalo de C20/25 a C50/60, deve ser determinado pelas equações 4.28 e 4.29. O valor característico do espaçamento e a distância ao bordo para dispositivos expostos ao fogo perto do bordo deve ser considerado como $s_{cr,N,fi} = 2c_{cr,N,fi} = 4h_{ef}$.

$$N_{Rk,c,fi(90)}^0 = \frac{h_{ef}}{200} \times N_{Rk,c}^0 \leq N_{Rk,c}^0, \text{ para exposições até 90min [N]} \quad (4.28)$$

$$N_{Rk,c,fi(120)}^0 = 0,8 \times \frac{h_{ef}}{200} \times N_{Rk,c}^0 \leq N_{Rk,c}^0, \text{ para exposições entre 90 min e 120 min [N]} \quad (4.29)$$

4.9.2.1.4 Rotura por “splitting”

A prEN1992-4:2013 [2] prevê que esta verificação não é necessária, uma vez que a armadura existente oferece a capacidade resistente necessária para absorção dos esforços submetidos.

4.9.2.2 Esforço de Corte

4.9.2.2.1 Rotura do aço

O valor da tensão característica ao corte $\tau_{Rk,s,fi}$ de um dispositivo de ancoragem sem efeito de alavanca e exposto à ação do fogo pode ser consultado no Quadro 4.42 e

Quadro 4.43, uma vez que segundo a prEN1992-4:2013 prevê que $\tau_{Rk,s,fi} = \sigma_{Rk,s,fi}$.

Por sua vez, a resistência de corte característica é dado pela seguinte equação:

$$V_{Rk,s,fi} = \tau_{Rk,s,fi} \times A_s \text{ [N]} \quad (4.30)$$

A resistência característica associada a um dispositivo submetido a um esforço de corte com efeito de alavanca deve ser determinada como em 4.5 (ponto 7.2.2.3.2 norma [2]). No entanto, o momento resistente característico de um só dispositivo de ancoragem exposto à ação do fogo é limitado pelo valor determinado pela equação 4.31.

$$M_{Rk,s,fi}^0 = 1,2 \times W_{el} \times \sigma_{Rk,s,fi} \text{ [Nm]} \quad (4.31)$$

4.9.2.2.2 Rotura por “*pry-out*”

A resistência característica de dispositivos de ancoragem instalados em betão cujas classes pertençam ao intervalo de C20/25 a C50/60 inclusive, deve ser determinada através das seguintes equações.

$$V_{Rk,cp,fi(90)} = k_3 \times N_{Rk,c,fi(90)}, \text{ para exposições até } 90 \text{ min [N]} \quad (4.32)$$

$$V_{Rk,cp,fi(120)} = k_3 \times N_{Rk,c,fi(120)}, \text{ para exposições entre } 90 \text{ min a } 120 \text{ min [N]} \quad (4.33)$$

4.9.2.2.3 Rotura do betão pelo bordo

A resistência característica de um só dispositivo de ancoragem instalado em betão cuja classe pertença ao intervalo de C20/25 a C50/60 inclusive, deve ser determinada através das seguintes equações.

$$V_{Rk,c,fi(90)}^0 = 0,25 \times V_{Rk,c}^0, \text{ para exposições até } 90\text{min [N]} \quad (4.34)$$

$$V_{Rk,c,fi(120)}^0 = 0,20 \times V_{Rk,c}^0, \text{ para exposições entre } 90\text{ min a } 120\text{min [N]} \quad (4.35)$$

4.9.2.3 Combinação de esforços axiais e corte

As condições para a combinação de esforços axiais e corte para os chumbadouros, buchas químicas e mecânicas devem estar de acordo com as expostas no subcapítulo 0 Para os canais de ancoragem estão previstas as condições expostas no subcapítulo 4.5.3.3.

4.10 VERIFICAÇÃO AO ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO

Para efeitos de verificação ao Estado Limite de Utilização, a prEN1992-4:2013 [2] indica que a equação 4.4 deve ser satisfeita. Indica também que o deslocamento admissível C_d deve ser avaliado pelo projetista tendo em conta o tipo de ligação aço-betão em questão (ligação estrutural ou não estrutural).

Assume ainda que os deslocamentos são em função linear do carregamento aplicado. No caso de existir combinação de esforços axiais e de corte, os deslocamentos devem ser adicionados vectorialmente.

5 FERRAMENTAS DE CÁLCULO

5.1 INTRODUÇÃO

Durante o estágio foram desenvolvidas, com recurso ao Microsoft Excel e a linguagem “*Visual Basic for Applications*”, duas ferramentas de cálculo para o dimensionamento de ligações aço-betão. No início do estágio, o plano delineado tinha como objetivo principal o de desenvolver uma ferramenta de cálculo apenas para o dimensionamento de chumbadouros, buchas químicas e buchas mecânicas previstos na prEN1992-4:2013 [2]. No entanto, durante o estágio, surgiu uma oportunidade de dimensionamento de ligações aço-betão que envolvia a utilização de soluções com canais de ancoragem. Adequando essa oportunidade ao estudo da prEN1992-4:2013 [2], o plano delineado inicialmente foi modificado e decidiu-se abordar os canais de ancoragem, desenvolvendo para o efeito uma ferramenta de cálculo. Sendo assim, o que poderia ter sido desde o início apenas uma, acabou por resultar em duas ferramentas de cálculo desenvolvidas em fases de estágio distintas, caracterizadas com aspeto estético e metodologias de cálculo diferentes.

No presente capítulo será descrita a organização das duas ferramentas, dando maior importância não só à organização das respetivas folhas de cálculo como também à justificação dos parâmetros introduzidos nas próprias. As folhas de cálculo encontram-se divididas em duas componentes: ativa e passiva. A componente ativa é a parte esquerda do campo de trabalho, que coincide com as folhas junto ao bordo lateral esquerdo e caracteriza-se por apresentar cores sóbrias com letra e espaçamentos normalizados para um tamanho A4 de forma a qualquer momento, proceder à impressão de um relatório completo do dimensionamento / verificação de uma ligação. Nesta componente, são apresentados os valores e verificações relevantes para o dimensionamento da ligação. A componente passiva é a parte direita do campo de trabalho, que envolve as restantes folhas, sendo aqui que são apresentadas as tabelas retiradas de diferentes documentos, como a prEN1992-4:2013 [2] e os Eurocódigos que possuem valores necessários às diferentes verificações e ainda valores adjacentes ao tipo de material utilizado, como por exemplo a classe de betão e classe de resistência do aço.

1 DADOS DA LIGAÇÃO AÇO-BETÃO

1.1. IDENTIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO

Nome do Projeto
N.º de ligação
Tipo de ligação
Máx. estrutural
Barra estrutural

1.2. GEOMETRIA DA LIGAÇÃO

1.2.1. PILAR

Altura [m]
Ângulo de inclinação [graus]

Seção
Altura [mm]
Largura [mm]
Espessura da alma [mm]
Espessura da base [mm]

Material
 f_{yk} [MPa]
 f_{td} [MPa]

1.2.2. BASE DE PILAR - CHAPA METÉLICA

Comprimento [mm]
Largura [mm]
Espessura [mm]

Material
 f_{yk} [MPa]
 f_{td} [MPa]

COMPONENTE PASSIVA - valores acordados

Limpar dados anteriores Introduzir dados Consultar relatório de cálculo da ROBEI?

Tabela 1 - Dimensões das perfis metálicos

Perfil	N (mm)	h (mm)	b (mm)	t (mm)
IP-E 100	100	46	3,8	5,2
IP-E 100	100	55	4,1	5,7
IP-E 150	120	64	4,4	6,3
IP-E 140	140	73	4,7	6,9
IP-E 160	160	82	5	7,4
IP-E 180	180	91	5,3	8
IP-E 200	200	100	5,6	8,5
IP-E 220	220	110	5,9	9,2
IP-E 240	240	120	6,2	9,9
IP-E 270	270	135	6,6	10,2
IP-E 300	300	150	7,1	10,7
IP-E 320	320	160	7,5	11,5
IP-E 360	360	170	8	12,7
IP-E 400	400	190	8,6	13,5
IP-E 450	450	190	9,4	14,4
IP-E 500	500	200	10,2	16
IP-E 550	550	210	11,1	17,2
IP-E 600	600	220	12	19
HEB 100	100	100	6	10
HEB 120	120	120	6,5	11
HEB 140	140	140	7	12
HEB 160	160	160	8	13
HEB 180	180	180	8,5	14
HEB 200	200	200	9	15
HEB 220	220	220	9,5	16
HEB 240	240	240	10	17
HEB 260	260	260	10	17,5
HEB 280	280	280	10,5	18
HEB 300	300	300	11	19
HEB 320	320	300	11,5	20,5
HEB 340	340	300	12	21,5
HEB 360	360	300	12,5	22,5
HEB 400	400	300	13,5	24
HEB 450	450	300	14	26
HEB 500	500	300	14,5	28
HEB 550	550	300	15	29
HEB 600	600	300	15,5	30
HEA 100	96	100	5	8
HEA 150	114	120	5	8

Tabela 2 - Dimensões das chapas metálicas

Classe de aço	t_p (mm)	t_b (mm)
S 235	235	240
S 275	275	280
S 355	355	360
S 460	460	460

Tabela 3 - Dimensões das ancoragens

Dimensão	d (mm)	h_{ef} (mm)
4	6	29,2
6	8	50,2
8	10	76,5
10	12	102,1
12	16	201,6
16	20	214,1
20	22	380,1

Figura 5.1- Identificação das componentes das folhas de cálculo: componente ativa (sinalizado a verde) e componente passiva (sinalizado a vermelho).

Com esta distinção em componentes pretende-se organizar o campo de trabalho e economizar o tempo despendido não só no dimensionamento da ligação como também na elaboração de um relatório de cálculo e consequente memória descritiva.

5.2 ORGANIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE CÁLCULO

Como consequência de as ferramentas terem sido desenvolvidas em fases distintas do estágio, também a sua organização é diferente. Para a ferramenta de cálculo que possibilita o dimensionamento de chumbadouros, buchas químicas e mecânicas, existiu um maior cuidado na interface com o utilizador e na automatização na introdução dos valores, enquanto na ferramenta para o dimensionamento de canais de ancoragem, optou-se por uma abordagem simplificada. Apresenta-se de seguida a constituição das ferramentas de cálculo.

Quadro 5.1 – Organização e constituição das ferramentas de cálculo.

	Folhas de Cálculo			
Dimensionamento de ligações aço-betão: chumbadouros, buchas químicas e buchas mecânicas	INÍCIO			
	Dados ligação			
	Distribuição dos esforços			
	Consultar antes de dimensionar			
	Estado Limite Último (Rotura)	ACA-A	ACA-BQ	ACA-BM
		ASA-C	ASA-BQ	ASA-BM
		CCA-cEA		CCA-sEA
		CSA-cEA		CSA-sEA
		A+CCA		A+CSA
	Estado Limite Último (Fadiga)	Afat	Cfat	(A+C)fat
	Ação Sísmica	(ACA-A)s	(ACA-BQ)s	(ACA-BM)s
		(ASA-C)s	(ASA-BQ)s	(ASA-BM)s
		(CCA)s		(CSA)s
		(A+CCA)s		(A+CSA)s
	Ação do Fogo	Afire	Cfire	(A+C)fire
Dimensionamento de ligações aço-betão: canais de ancoragem	Informação Geral da Folha			
	Identificação do Projeto			
	Informações do Projeto			
	Verificações de Segurança			
	Quadro Resumo			

5.3 APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS FOLHAS DE CÁLCULO

5.3.1 Dimensionamento de ligações aço-betão: chumbadouros, buchas químicas e mecânicas

5.3.1.1 Folha de cálculo: 'INÍCIO'

Nesta folha de cálculo são apresentadas algumas notas gerais sobre a ferramenta. Foi incluído um botão de comando que permite navegar diretamente para a folha 'Dados ligação'. As fotografias apresentadas correspondem a uma ligação aço-betão presente num pilar do Teleférico de Gaia.

DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES AÇO-BETÃO (segundo prEN 1992-4:2013)

- ▶ A presente ferramenta de cálculo foi desenvolvida durante o estágio decorrido na empresa SE2P no âmbito da unidade curricular de DIPRE do Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- ▶ Tem como principal objectivo o **dimensionamento e/ou verificação** de ligações aço-betão, contemplando soluções de chumbadouros, buchas químicas e buchas mecânicas.
- ▶ A ferramenta tem como base de pré-dimensionamento e cálculo estrutural a utilização do software **Autodesk Robot Structural**. Para outros softwares de dimensionamento e cálculo de estruturas não mencionados no relatório, deve-se proceder a uma análise dos parâmetros em comum, previamente à introdução dos dados relativos à ligação a dimensionar/verificar.
- ▶ Durante a utilização da ferramenta será necessário a utilização do **Bloco de Notas**, do **AutoCAD** e do **Profis Anchor** desenvolvido pela Hilti, de forma a facilitar o acesso a estas ferramentas foram criados botões que permitem de forma rápida e direta executar a sua abertura.

INICIAR NAVEGAÇÃO NA FERRAMENTA

Desenvolvida por: Ana Luísa Azevedo 1080180
Mestrado em Engenharia Civil -Estruturas

isep



Figura 5.2 – Interface da folha 'INÍCIO'.

5.3.1.2 Folha de cálculo: 'Dados ligação'

Esta folha permite a introdução dos dados necessários para cada verificação. Para o seu desenvolvimento e organização foram consultadas e estudadas as verificações previstas na prEN1992-4:2013[2], quais os parâmetros envolvidos e quais as suas unidades. Uma particularidade desta folha é a facilidade na introdução desses mesmos dados, para esse efeito foi criado um formulário que permite operar essa tarefa, escolhendo à partida algumas propriedades para os materiais (propriedades essas expostas na componente passiva e sem as quais não é possível realizar as verificações).

Para a criação do formulário foi necessário aplicar os conhecimentos em linguagem VBA, criando também dois botões de comando na própria folha de cálculo na componente passiva: um botão para limpar os dados introduzidos anteriormente, impedindo assim uma sobreposição de valores relacionados com a última ligação dimensionada através da ferramenta e um botão que abre o formulário para a introdução dos dados. No caso de dimensionamento de uma ligação e na ausência de um relatório de cálculo de um “software” com os dados da ligação, é possível utilizar o formulário preenchendo apenas as informações que estão assinaladas com um asterisco vermelho. Caso uma dessas informações seja omissa, a ferramenta de cálculo não poderá funcionar corretamente, pois a inexistência de dados causa a desfragmentação da corrente de cálculo das diversas folha.

Apresentam-se de seguida duas figuras do formulário de introdução de dados. Este formulário é constituído por 2 separadores: Dados da ligação e Ajuda. O primeiro apresenta a interface onde é introduzida toda a informação, o segundo além de apresentar uma legenda de todos os parâmetros que aparecem no primeiro separador, contém esquemas dos diversos tipos de dispositivos de ancoragem utilizados nas ligações que ajudam na percepção das suas dimensões.

Introdução de dados

Dados da Ligação | Ajuda

IDENTIFICAÇÃO

Nome do Projeto *

N.º da ligação Tipo de ligação Nó estrutural Barra estrutural

GEOMETRIA

Pilar

Secção Lc [m]

Perfi Metálico * α

Classe do Material *

Base de Pilar

Classe do Material *

lpd [mm] * bpd [mm] * tpd [mm] *

tg [mm] *

Cutelo

ls [mm] hs [mm] ts [mm]

d1 d2

Fundação

Tipo Classe de Betão *

L [mm] * B [mm] * H [mm] *

Dispositivo de ancoragem

Número de ancoragens * Classe *

d3 [mm] *

Tipo de ancoragem * ☐ Varões dobrados ☐ Varões ☐ Com placa de resistência

L1 [mm] L3 [mm] ev [mm] * nv *

L2 [mm] * L4 [mm] eh [mm] * nh *

Placa de resistência

Formato da placa * ☐ Redonda ☐ Quadrada

lp [mm] * bp [mm] *

Classe do Material * d4 [mm] *

tp [mm] *

Arruela

lwd [mm] bwd [mm] twd [mm]

* Em dimensionamento, estes parâmetros são de preenchimento obrigatório!

Submeter

Sair

Parceria ISEP/ DEC com SE2P (07/2019)

isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

SE 2P

Figura 5.3 - Formulário para introdução de dados, separador “Dados da ligação”.

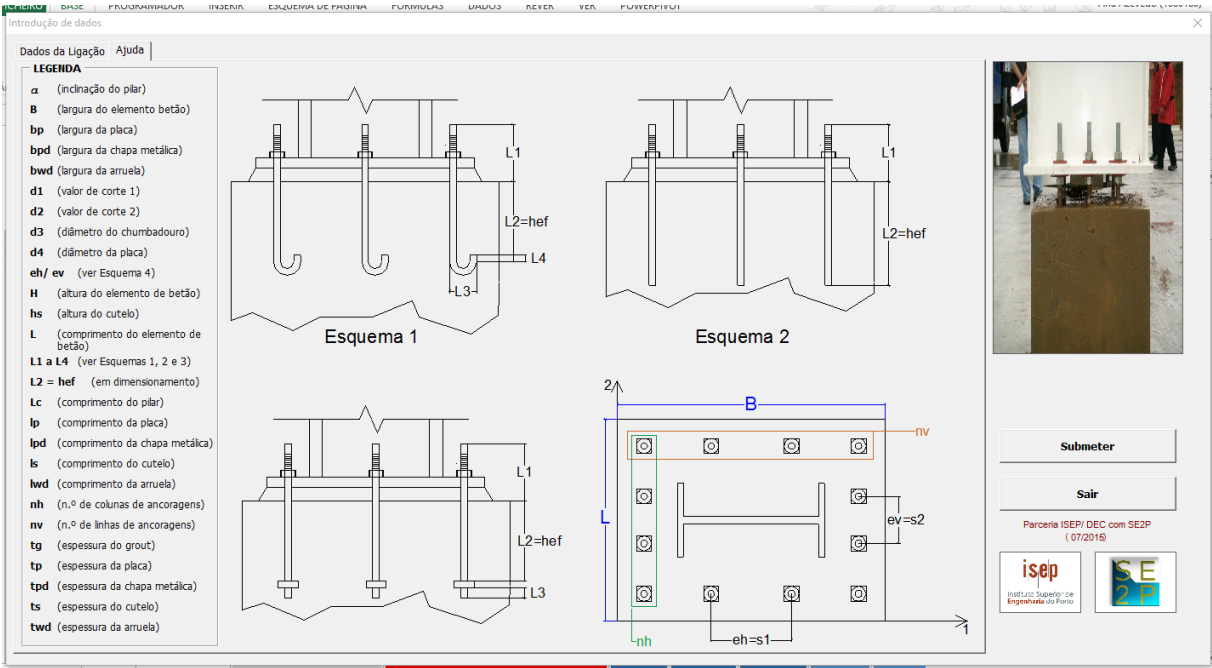


Figura 5.4 – Formulário para introdução de dados, separador “Ajuda”.

No fim da folha, é apresentada uma secção que contém os valores mínimos de espaçamento, distância ao bordo e espessura do elemento de betão e que indica se esses mesmos valores são cumpridos para a ligação a dimensionar. Apesar de a prEN1992-4:2013 [2] prever que existem valores mínimos tais não são estipulados no seu conteúdo, sendo assim, como forma de validação da geometria e disposição das ancoragens optou-se por seguir as expressões sugeridas pelo *fib* [12].

Quadro 5.2 – Expressões que permitem determinar os valores mínimos de geometria e disposição das ancoragens, segundo *fib*. [12]

Espaçamento mínimo	$s_{min} = 5d \geq 50mm$
Distância mínima ao bordo	$c_{min} = 3d \geq 50mm$
Espessura mínima do elemento de betão^{a)}	$h_{min} = h_{ef} + d_h + c < h$
^{a)} d_h -diâmetro da cabeça do chumbadouro, corresponde ao t_h da fórmula original do <i>fib</i> ; c - recobrimento mínimo do betão, em conformidade com o EC2, corresponde ao c_ϕ da fórmula original do <i>fib</i> .	

As fórmulas originais do *fib* [12] previam a utilização de valores em conformidade com o CEB-FIP Model Code 1990 [18]. No entanto, no presente relatório utilizar-se-á valores de acordo com o EC2 [6], uma vez que se está a desenvolver a ferramenta com base numa pré-Norma que é uma extensão desse mesmo Eurocódigo [6].

5.3.1.3 Folha de cálculo: 'Distribuição dos esforços'

A componente ativa desta folha é composta por três partes distintas:

- Ponto 2.1 – Esforços atuantes totais da ligação: introdução dos esforços totais a atuar na ligação;
- Ponto 2.2 – Esforços atuantes associados a cada ancoragem: distribuição dos esforços na ligação;
- Ponto 2.3 – Gerar modelo 2D em AUTOCAD: tratamento de dados para gerar um desenho básico da ligação, para complemento ao cálculo das áreas necessárias às verificações.

5.3.1.3.1 Ponto 2.1 – Esforços atuantes totais da ligação

Trata-se da parte mais simples desta folha, e não é mais do que a introdução dos esforços observados na ligação através de um formulário que é ativo por um botão de comando que existe na componente ativa da folha. Tal como na folha de cálculo anterior, foi criado um botão de comando que permite limpar dados de ligações dimensionadas anteriormente.

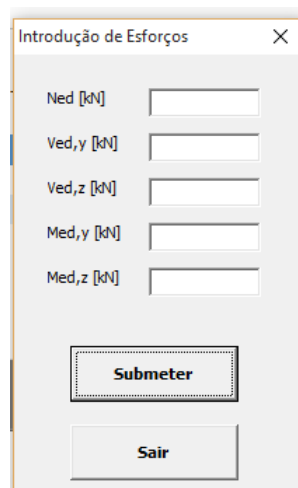
A imagem mostra uma janela de software intitulada "Introdução de Esforços". A janela contém seis campos de entrada de texto, cada um precedido por uma etiqueta: "Ned [kN]", "Ved,y [kN]", "Ved,z [kN]", "Med,y [kN]" e "Med,z [kN]". Abaixo dos campos, há dois botões de comando: "Submeter" e "Sair".

Figura 5.5 - Formulário para introdução de esforços.

A prEN1992-4:2013 [2] assume as direções dos esforços segundo os eixos (1,2). Para esse efeito foi introduzida uma imagem na componente passiva com a intenção de facilitar a introdução dos esforços, sendo que a direção 1 prevista na pré-Norma [2] corresponde a x e a direção 2 a y.

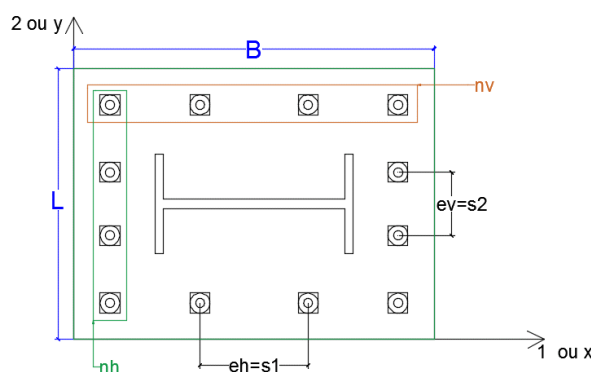


Figura 5.6 – Relação entre as direções (1,2) com (x,y).

5.3.1.3.2 Ponto 2.2 – Esforços atuantes associados a cada ancoragem

Trata-se da parte mais complexa da folha e envolve um estudo pormenorizado do comportamento dos diversos elementos da ligação. O método analítico previsto na prEN1992-4:2013 [2] para a distribuição dos esforços consiste numa análise elástica, tal como exposto no subcapítulo 4.4 do presente relatório. Para efeitos práticos, esta distribuição em ligações aço-betão simples submetidas apenas a esforços axial e/ou de corte pode ser realizada dividindo o esforço atuante total pelo número de dispositivos de ancoragem. Já numa ligação mais complexa submetida a esforços axial, de corte e momento esta distribuição não é tão linear. Para esse efeito no desenvolvimento da ferramenta de cálculo optou-se por recorrer ao “*software*” da Hilti, uma vez que:

- O método analítico previsto na prEN1992-4:2013 [2] envolve uma interpretação e análise individual para cada ligação, o que implica um aumento no tempo gasto tanto nessa interpretação como na programação da ferramenta de cálculo e em termos práticos, pretende-se exatamente o contrário;
- O “*software*” da Hilti permite a introdução de esforços de corte e momentos nas duas direções, fazendo a decomposição e consequente distribuição dos esforços por todos os dispositivos de ancoragem de forma bastante rápida, sendo que a margem de erro é reduzida;

- Como “*output*” da utilização do “*software*” é obtido um relatório de cálculo que contém duas tabelas (uma com as reações e outra com as coordenadas das ancoragens) e um pormenor com as zonas tracionadas e comprimidas da ligação, que tem como vantagem permitir ao utilizador da ferramenta uma maior perceção do comportamento global da ligação quando submetido ao conjunto de esforços.

2 Combinação de Carga/Resultantes

Combinação de Carga: Cargas majoradas

Reacções nas ancoragens [kN]

Tracção: (+Tracção;-Compressão)

Ancoragem	Tracção	Carga de corte	Corte em x	Corte em y
1	0,000	19,369	-15,384	-11,769
2	61,815	19,369	-15,384	-11,769
3	137,829	19,369	-15,384	-11,769
4	0,000	19,369	-15,384	-11,769
5	137,829	19,369	-15,384	-11,769
6	0,000	19,369	-15,384	-11,769
7	137,829	19,369	-15,384	-11,769
8	0,000	19,369	-15,384	-11,769
9	61,815	19,369	-15,384	-11,769
10	137,829	19,369	-15,384	-11,769

Extensão máxima à compressão da alvenaria: 0,48 [‰]

Resistência máxima à compressão da alvenaria: 14,39 [N/mm²]

Tracção resultante em (x/y)=(0/400): 674,944 [kN]

Compressão resultante em (x/y)=(0/-499): 490,754 [kN]

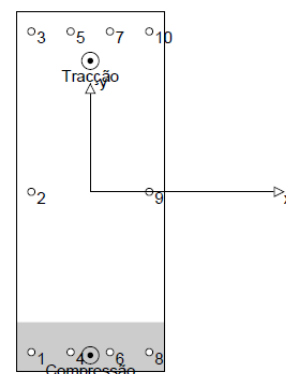


Figura 5.7 – Tabela de distribuição de esforços retirada de um relatório de cálculo obtido através do “*software*” da Hilti.

Os únicos inconvenientes associados à utilização desta técnica para distribuição de esforços são:

- Caso se esteja a verificar uma ligação pré-dimensionada num programa de cálculo estrutural, neste caso ROBOT, há que ter em conta o sistema de eixos utilizados, para quando se introduzirem os esforços no “*software*” da Hilti não existir uma troca de direções;
- Apesar de ser um processo mais rápido que o método analítico, é necessário transpor as tabelas do relatório para a folha de cálculo.

De forma a auxiliar o processo da passagem da distribuição de esforços obtida no relatório da Hilti, é possível consultar um formulário que está na componente ativa da folha que contém todos os procedimentos necessários para realizar essa operação sem comprometer o restante funcionamento da folha. Foram ainda criados dois botões de comando que permitem a abertura do “*Profis Anchor*” da Hilti e do bloco de notas, impedindo que o utilizador tenha que abandonar a ferramenta de cálculo para abrir os programas necessários.

A criação do formulário justifica-se pela necessidade da ferramenta de cálculo poder ser utilizada por qualquer colaborador de uma empresa sem que este tenha necessidade de procurar o autor em caso de dúvida. Pretende-se com isto, aumentar a capacidade autónoma dos utilizadores e mais uma vez, diminuir o tempo de resposta de uma determinada tarefa.


Como obter a distribuição dos esforços?

Abrir HILTI Profis Anchor e Bloco de Notas

Procedimentos | Ajuda

HILTI Profis Anchor

- 1 Através dos dados da ligação, configurar uma nova ligação
- 2 Ter atenção aos eixos utilizados no programa de cálculo estrutural e nos eixos do software da HILTI
- 3 Após a configuração, obter o relatório de cálculo da ligação



Bloco de Notas

- 1 Copiar apenas os valores da tabela do relatório de cálculo obtido acima. (Esquema 1 em "Ajuda")
- 2 Colar no bloco de notas. E guardar no formato .txt (Esquema 2 em "Ajuda")

Excel

- 1 No ponto 2.2 da folha 'Distribuição de Esforços', existe um local próprio para os valores serem inseridos.
- 2 No separador Dados, 'Obter dados externos > Do texto', prosseguir á introdução dos valores da tabela, tendo em atenção como são delimitados os valores.
- 3 Selecionar os valores que foram introduzidos e no separador Base, proceder à localização e substituição das vírgulas por pontos nesse intervalo de células. Isto porque a ferramenta de cálculo está a trabalhar com o separador decimal ".".
- 4 Retirar os valores correspondentes aos esforços máximos

Parceria ISEP/ DEC com SE2P (07/2015)

isep
Instituto Superior de
Engenharia do Porto

**SE
2P**

Sair

Figura 5.8 – Formulário criado com objetivo de auxiliar o processo de obtenção da distribuição dos esforços na ferramenta de cálculo.

5.3.1.3.3 Ponto 2.3 – Gerar modelo 2D em AUTOCAD

Esta secção foi criada com a intenção de facilitar a determinação de algumas áreas associadas aos modos de rotura. Consiste num agrupamento de tabelas, que estão ligadas aos dados introduzidos, facilitando assim a determinação de um conjunto de coordenadas que após a criação de “*scripts*” possibilita gerar um modelo em 2D da ligação. Nas folhas de cálculo que se seguem, compreender-se-á mais facilmente o propósito deste modelo.

The screenshot shows a web form titled "Como gerar desenho em AutoCAD?". The form has a tabbed interface with "Scripts" and "Ajuda" tabs. The "Scripts" tab is active and contains four sections: "Fundação 2D", "Chapa de Base Metálica", "Perfil Metálico", and "Ancoragens". Each section provides a list of steps to follow for generating a 2D model in AutoCAD. The "Fundação 2D" section includes steps for copying data from a table, writing a script, and saving it. The "Chapa de Base Metálica" and "Perfil Metálico" sections provide instructions on how to proceed with the design. The "Ancoragens" section includes steps for copying data, writing a script, and saving it. At the bottom of the form, there is a footer with logos for "Parceria ISEP/ DEC com SE2P (07/2015)", "isep Instituto Superior de Engenharia do Porto", and a "Sair" button.

Figura 5.9 – Formulário criado com o objetivo de auxiliar o processo de gerar o modelo 2D em AUTOCAD.

Tal como para o ponto 2.2, onde eram necessários abrir programas externos ao EXCEL, também nesta fase foram criados dois botões de comando: um que abre o AutoCAD 2016 e outro que abre o bloco de notas, mais uma vez com o objetivo de impedir a perda de tempo do utilizador em sair da ferramenta para executar a abertura dos programas.

5.3.1.4 Folha de cálculo: ‘CONSULTAR ANTES DE DIMENSIONAR’

Esta folha de cálculo é a mais importante uma vez que contem toda a informação para que o utilizador consiga usufruir da utilidade da ferramenta de cálculo digital sem ter que estudar aprofundadamente a prEN1992-4:2013 [2] para conseguir proceder às verificações. Para que numa fase posterior esta facilidade de manuseamento da ferramenta fosse verdadeira, previamente ao desenvolvimento da ferramenta de cálculo, foi elaborado um estudo cuidado de todas as verificações a realizar, concluindo-se portanto que para o:

- Estado limite último de rotura
 - As verificações a realizar associadas ao esforço axial dependiam se o elemento de betão onde se iria construir a ligação já possuía ou não armadura no local e dependiam do tipo de dispositivo de ancoragem escolhido como solução;
 - As verificações a realizar associadas ao esforço de corte dependiam também da existência de armadura mas agora, em vez do tipo de dispositivo de ancoragem, dependiam da existência do efeito de alavanca.
- Estado limite último de fadiga
 - As verificações diferem apenas tendo em conta o tipo de esforço
- Ação sísmica
 - As verificações a realizar são idênticas às do Estado limite último de rotura, tendo em consideração as disposições enunciadas no Anexo C da prEN1992-4:2013 [2].
- Ação do Fogo
 - As verificações diferem apenas tendo em conta o tipo de esforço, tendo em consideração as disposições enunciadas no Anexo D da prEN1992-4:2013 [2].

Para que estas conclusões sejam mais perceptíveis foram criados na componente passiva da folha de cálculo os seguintes quadros.

Quadro 5.3 - Folhas necessárias para a verificação ao ELU (Rotura) para o esforço axial.

		Qual o tipo de ancoragem?		
		Chumbadouro	Buchas químicas	Buchas mecânicas
O elemento de betão tem armadura?	Sim	ACA-C	ACA-BQ	ACA-BM
	Não	ASA-C	ASA-BQ	ASA-BM

Quadro 5.4 - Folhas necessárias para a verificação ao ELU (Rotura) para o esforço de corte.

		Existe efeito de alavanca?	
		Sim	Não
Armadura	Sim	CCA-cEA	CCA-sEA
	Não	CSA-cEA	CSA-sEA

Quadro 5.5 - Folhas necessárias para a verificação ao ELU (Rotura) para a combinação dos esforços axial e de corte.

Armadura	Sim	A+CCA
	Não	A+CSA

Quadro 5.6 - Folhas necessárias para a verificação ao ELU (Fadiga) para os diversos esforços.

Esforços	Axial	Afat
	Corte	Cfat
	Axial + Corte	(A+C)fat

Quadro 5.7 - Folhas necessárias para a verificação à ação sísmica para o esforço axial.

		Qual o tipo de ancoragem?		
		Chumbadouro	Buchas químicas	Buchas mecânicas
O elemento de betão tem armadura?	Sim	(ACA-C)s	(ACA-BQ)s	(ACA-BM)s
	Não	(ASA-C)s	(ASA-BQ)s	(ASA-BM)s

Quadro 5.8 - Folhas necessárias para a verificação à ação sísmica para o esforço de corte.

Armadura	Sim	(CCA)s
	Não	(CSA)s

Quadro 5.9 - Folhas necessárias para a verificação à ação sísmica para a combinação dos esforços axial e de corte.

Armadura	Sim	(A+CCA)s
	Não	(A+CSA)s

Quadro 5.10 - Folhas necessárias para a verificação à ação do fogo para os diversos esforços.

Esforços	Axial	Afire
	Corte	Cfire
	Axial + Corte	(A+C)fire

Estes quadros permitem que através de umas perguntas colocadas na componente ativa o utilizador identifique quais as folhas a consultar para a ligação que está a dimensionar ou a verificar.

Previamente à colocação das questões foi elaborada um primeira verificação, cujo resultado é necessário para a determinação das folhas a consultar. A verificação está associada à existência ou não de efeito de alavanca. Após essa verificação o utilizador tem assim todas as condições para determinar quais as folhas a consultar para o dimensionamento de uma determinada ligação.

I VERIFICAÇÃO DA EXISTÊNCIA DE EFEITO DE ALAVANCA (associado ao esforço de corte)?		
<div> <div>hef [mm]</div> <div>250</div> </div> <div> <div>t [mm]</div> <div>20</div> </div>	OK	
<p>No caso de ancoragens soldadas ou aparafusadas, é considerado que não existem folgas. Se não existem folgas, esta verificação não é necessária.</p>		
<div> <div>Diâmetro [mm]</div> <div>20</div> </div> <div> <div>Diâmetro do furo [mm]</div> <div>22</div> </div> <div> <div>df [mm]</div> <div>22</div> </div>	OK	
<div> <div>tg [mm]</div> <div>30</div> </div> <div> <div>resistência do grout [N/mm²]</div> <div>30</div> </div>	OK	
Não existe efeito de alavanca		

Figura 5.10 - Verificação da existência de efeito de alavanca.

O processo passa por responder às questões, onde as respostas são colocadas num quadro que por sua vez está interligado com células que apresentam os respetivos “links” para as folhas a consultar. Optou-se por criar estas células para facilitar ao utilizador a navegação dentro da ferramenta.

II ESCOLHER AS FOLHAS A UTILIZAR NAS VERIFICAÇÕES!

Tem esforço axial?	Sim
Tem esforço de corte?	Sim
O elemento de betão tem armadura?	Não
Qual o tipo de ancoragem?	Chumbadouro
Existe efeito de alavanca?	Não

Responder às questões para determinar qual as folhas a utilizar!

Axial	ASA - C	Afat	(ASA - C) _s	Afire
Corte	CSA - sEA	Cfat	(CSA) _s	Cfire
Axial + Corte	A+CSA	(A+C)fat	(A+CSA) _s	(A+C)fire

As folhas a consultar encontram-se visíveis no quadro abaixo. Clicar sobre as mesmas!



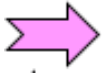



ELU - Rotura				ASA - C		
				CSA - sEA		
ELU - Fadiga		A+CSA				
	Afat					
	Cfat					
Ação Sísmica	(A+C)fat					
				(ASA - C)_s		
		(CSA)_s				
Ação Fogo	(A+CSA)_s					
Ação Fogo	Afire					
	Cfire					
	(A+C)fire					

Figura 5.11 - Interface da determinação das folhas a consultar.

5.3.1.5 Restantes folhas de cálculo

As restantes folhas de cálculo, que são apresentados no Quadro 5.1, refletem todas as verificações necessárias previstas na prEN1992-4:2013 [2] já mencionadas em capítulos anteriores. Para cada folha, teve-se em consideração quais as verificações obrigatórias e consequentes condições tendo em conta as disposições geométricas da ligação. Em todas as folhas existe um menu que possui um conjunto de botões de comando que permitem a navegação interna na ferramenta de cálculo.

Quadro 5.11 - Apresentação do menu de botões de comando presente em todas as folhas que contêm verificações.

		<p>Permite navegar diretamente para a folha de cálculo com o nome 'CONSULTAR ANTES DE DIMENSIONAR'. Botão criado com o objetivo de após a utilização de uma determinada folha, o utilizador voltar à folha 'CONSULTAR ANTES DE DIMENSIONAR' e através dos "links" apresentados no quadros navegar para a folha de verificações seguinte.</p>
		<p>Permite avançar para a folha de cálculo posterior.</p>
		<p>Permite regredir para a folha de cálculo anterior.</p>
		<p>Permite abrir o endereço eletrónico da Hilti: sistemas de ancoragens. Este botão foi criado para facilitar a consulta das ETA's dos diversos produtos.</p>
		<p>Botão programado para limpeza apenas das células onde é solicitado ao utilizador a introdução de um valor. A criação deste botão justifica-se pela necessidade de cada vez que se procede a uma operação de dimensionamento/ verificação, existirem parâmetros alheios à informação acessória da tabela que necessita de ser introduzida no momento pelo utilizador, ou seja, esses valores não se atualizam por eles mesmos nem dependem de nada, então para que não haja interferência de dados entre diferentes ligações, sempre que se entra numa nova folha de cálculo deve-se premir este botão.</p>

Ao contrário do que foi registado até aqui, não será feita uma apresentação das restantes folhas de cálculo, pois não se justifica abordar novamente as verificações previstas na prEN1992-4:2013 [2] que foram programadas nas diversas folhas da ferramenta de cálculo uma vez que tal já foi mencionado nos capítulos anteriores do presente relatório.

É importante referir ainda que no fim de cada uma das folhas de cálculo é apresentado um quadro resumo com os valores dos esforços atuantes e esforços resistentes para cada modo de rotura. Este quadro foi criado no âmbito de no fim de uma operação de dimensionamento/verificação o utilizador ter uma maior perceção de qual o modo de rotura mais condicionante e a nível de segurança verificar os valores dos rácios, para poder determinar se apesar de uma certa verificação ser aprovada, se está na eminência ou não de atingir o seu valor limite (máximo valor de 1).

I. Quadro Resumo				
	Modo de rotura	Ned [kN]	Nrd [kN]	Rácio
ACA - C	Rotura do aço	10.50	167.55	0.063
	Rotura por "pull-out"	10.50	494.80	0.021
	Rotura por "splitting"	42.00	52.32	0.803
	Rotura por "blow-out"	42.00	304.09	0.138
	Rotura do aço da armadura	42.00	349.57	0.120
	Rotura da ancoragem	42.00	106.16	0.396

Figura 5.12 - Figura com um exemplo de um quadro-resumo que está associado à folha de cálculo com o nome de 'ACA-C'.

5.3.2 Dimensionamento de ligações aço-betão: canais de ancoragem

5.3.2.1 Folha de cálculo: ' 1. Informação geral da folha'

Nesta folha são apresentadas algumas considerações gerais como também o objetivo da ferramenta de cálculo, o enquadramento legal da mesma e quais os pressupostos associados não só aos canais de ancoragem como também ao elemento de ligação que devem ser tomados como verdadeiros para que seja válida a aplicabilidade/ utilização da ferramenta numa determinada ligação.

Ao contrário do que aconteceu na ferramenta de cálculo para o dimensionamento de chumbadouros e buchas, onde foram desenvolvidas todas as hipóteses possíveis para cada tipo de dispositivo, para os canais de ancoragem apenas estão previstas soluções inseridas em elementos de betão fendilhado que não possuam armadura e que não possuam efeito de alavanca. Estes pressupostos têm impacto ao nível das verificações a serem realizadas. A ferramenta de cálculo está programada desta forma, pois foi moldada ao único exemplo de dimensionamento.

5.3.2.2 Folha de cálculo: ‘ 2. Identificação do Projeto’

Folha concebida com o objetivo de introduzir informações que permitem não só identificar a ligação a dimensionar como também identificar a sua localização em corte e em planta no projeto.

5.3.2.3 Folha de cálculo: ‘3. Informações de projeto’

A folha de cálculo 3, apresenta-se como sendo a menos desenvolvida de toda a ferramenta. Contêm informações necessárias às verificações como a classe de resistência do betão e o estado de condição do betão.

5.3.2.4 Folha de cálculo: ‘4.Verificações de segurança’

A folha de cálculo ‘4. Verificações de segurança’ está dividida em 5 secções:

- Secção I: solução prevista

Nesta secção, é solicitado ao utilizador a escolha de uma solução de um canal de ancoragem e restantes elementos da ligação. A partir do momento em que é escolhida uma solução, as propriedades de cálculo e os esforços característicos atualizam automaticamente os seus valores. Esta secção foi desenvolvida no âmbito de facilitar o processo de dimensionamento / verificação de soluções de ligação aço-betão em que sejam utilizados canais de ancoragem, uma vez que a atualização automática dos valores permite ao utilizador diminuir o tempo de resposta para uma dada solução porque não tem de abandonar a ferramenta de cálculo para consultar valores necessários às verificações. Além das propriedades de cálculo e esforços característicos, existe uma célula que permite a introdução da altura da laje. Esta célula existe para que seja possível validar a escolha de uma solução (*Solução Apta* ou *Alterar Solução*), uma vez que existem distâncias mínimas a ser cumpridas entre a altura da laje e a ancoragem do canal.

4.1 Solução prevista

Canal de ancoragem	HAC-40	Propriedades de cálculo	
Parafuso do canal de ancoragem	HBC-C & 8.8	bch [mm]	40.9
classe	8.8	hch [mm]	28
Diâmetro do parafuso	M12	d1 [mm]	7.19
		d2 [mm]	13.5
		Ah [mm²]	114
		l [mm]	66
		smax [mm]	250
		smin [mm]	100
		min hef [mm]	91
		cmin [mm]	50
		delta h [mm]	3
		cnom [mm]	20 ≥ 10 mm
		hmin [mm]	114
hlaje [mm]	120	Verificação	Solução Apta

Figura 5.13 - Excerto da secção "Solução prevista" da ferramenta de cálculo para dimensionamento de canais de ancoragem.

- Secção II: esforços atuantes

Esta secção caracteriza-se pela introdução dos diversos valores de esforços atuantes. Foi criado um quadro que permite ao utilizador indicar qual o tipo de esforços, a que tipo de ação está associado e qual o seu valor.

- Secção III: verificação ao esforço axial
- Secção IV: verificação ao esforço de corte
- Secção V: verificação aos esforços axial e de corte

Estas últimas secções apresentam as verificações previstas e já mencionadas anteriormente no presente relatório no subcapítulo 4.5.3.

5.4 VALIDAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE CÁLCULO

Uma vez concluído o processo de desenvolvimento das ferramentas de cálculo, a validação das mesmas é um marco importante, pois possibilita ao autor a identificação de erros e a sua consequente correção.

5.4.1 Dimensionamento de ligações aço-betão: chumbadouros, buchas químicas e mecânicas

Para a validação desta ferramenta de cálculo, foram utilizados 3 métodos distintos cujos critérios de escolha das ligações associadas foram:

- Quantidade de informação conhecida, para validação do formulário e respetivo código VBA que permite a entrada da informação na folha de cálculo: 'Dados ligação';
- Tipo de dispositivo de ancoragem utilizado, com o objetivo de validar todas as folhas da ferramenta de cálculo;
- Diferentes "softwares" com diferentes normas técnicas, com o objetivo de identificar as diferenças existentes nas verificações utilizando a prEN1992-4:2013 [2] e outras normas.

No presente subcapítulo apenas serão validadas e apresentados os resultados das folhas associadas ao Estado limite último de rotura uma vez que não existiam dados suficientes que possibilitassem a utilização das restantes folhas (estado limite último (fadiga), ação sísmica e ação do fogo)).

5.4.1.1 Método I: Verificação e comparação dos relatórios de cálculo de uma ligação pré-dimensionada pelo "software" ROBOT.

O objetivo deste método é comparar as verificações previstas na prEN1992-4:2013 [2] com as verificações enunciadas no relatório de cálculo do ROBOT. É importante estabelecer este paralelismo, para identificar incoerências no dimensionamento de ligações entre o "software" utilizado atualmente em várias empresas e a prEN1992-4:2013 [2]. O ROBOT utiliza como bases técnicas a NP EN1993-1-8:2010 [19] e um documento intitulado de "CEB Design Guide: Design of fastening on concrete" de 1997 [20].

A ligação a ser utilizada na verificação (Figura 5.14 e Figura 5.15), está inserida numa estrutura metálica de um edifício destinado a um ginásio e encontra-se encastrada num elemento de betão (C20/25) sendo constituída por:

- Chapa de base metálica (300 x 300 x 20) mm³;
- 2 chumbadouros M20 (classe 8.8)
- Perfil metálico HEA 260;
- Profundidade de embebimento, hef= 500mm.

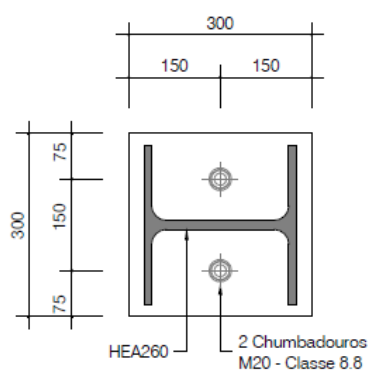


Figura 5.14 - Pormenor em planta da ligação a verificar, associada ao método I. [SE2P]

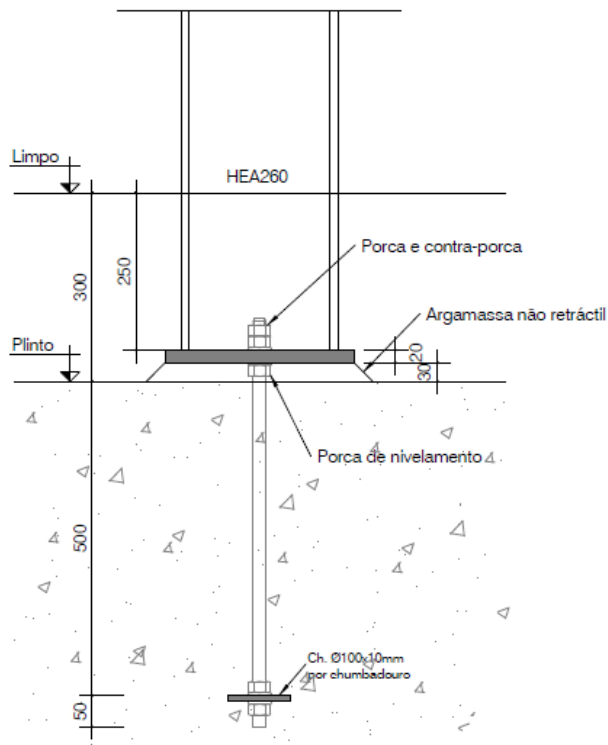


Figura 5.15 - Pormenor em corte da ligação a verificar, associada ao método I. [SE2P]

Os esforços atuantes na ligação são: 89,55 kN (axial) e -77,58 kN (corte na direção y). Uma das preocupações do utilizador no momento de introdução dos dados e esforços na ferramenta de cálculo é a verificação da compatibilidade dos sistemas de eixos, isto é no ROBOT o eixo do y está associado à largura do elemento de betão, enquanto o eixo do x está associado ao comprimento, enquanto o sistema de eixos utilizado na ferramenta de cálculo é exatamente contrário.

Sendo assim as direções y e x associadas aos esforços descritos acima devem ser transcritas para as respetivas direções da ferramenta de cálculo.

Após a introdução dos dados verificou-se que os requisitos geométricos mínimos eram todos cumpridos, nomeadamente o espaçamento entre dispositivos de ancoragem, distâncias mínimas ao bordo e altura mínima do elemento de betão.

As folhas a consultar para uma ligação com estas características foram:

- ASA-C (esforço axial sem armadura para chumbadouros)
- CSA-sEA (esforço de corte sem armadura sem efeito de alavanca)
- A+CSA (esforços axial e de corte sem armadura)

Os relatórios obtido através do ROBOT realizam mais verificações do que as previstas na pré-Norma [2], o que se poderá revelar, á partida, mais interessante e útil no processo de dimensionamento de uma ligação. Após a aplicação da ferramenta de cálculo, foi elaborado o Quadro 5.12 que apresenta os resultados obtidos, permitindo assim comparar os valores e retirar as devidas conclusões.

Quadro 5.12 - Comparação entre os valores obtidos no relatório do ROBOT e no relatório da ferramenta de cálculo.

Verificação ao esforço axial	prEN1992-4:2013 [2]			ROBOT			ROBOT		
				EC3-1-8 [19]			CEB [20]		
	Nrk,i [kN]	γ	Nrd,i [kN]	Nrk,i [kN]	γ	Nrd,i [kN]	Nrk,i [kN]	γ	Nrd,i [kN]
Rotura do aço	195.84	1.5	130.56	149.94	1.25	119.95	156.80	1.2	130.67
Rotura por "pull-out"	1130.97	1.5	753.98				1055.60	2.16	488.70
Rotura por cone de betão	132.90	1.5	88.60				108.70	2.16	50.32
Rotura por "splitting"	23.58	1.5	15.72				117.41	2.16	54.36
Rotura por "blow-out"	N/A								
Verificação ao esforço de corte	Vrk,i [kN]	γ	Vrd,i [kN]	Vrk,i [kN]	γ	Vrd,i [kN]	Vrk,i [kN]	γ	Vrd,i [kN]
Rotura do aço sem efeito de alavanca	97.88	1.25	78.30	62.80	1.25	50.24			
Rotura por "pry-out"	265.81	1.5	177.21				217.10	2.16	100.51
Rotura do betão pelo bordo na direção 1	59.60	1.5	39.73				255.36	2.16	118.22
Rotura do betão pelo bordo na direção 2	58.68	1.5	39.12						

Analisando o Quadro 5.12 conclui-se que:

- Na verificação à rotura do aço, o ROBOT utiliza o valor mínimo de duas verificações realizadas (uma pelo EC3 [19] e outra pelo CEB [20]), determinando um valor para a capacidade resistente aproximada da calculada pela ferramenta de cálculo;
- Na verificação à rotura por “pull-out” são obtidos valores da mesma grandeza. As diferenças residem nos valores utilizados na expressão de cálculo e no coeficiente parcial de segurança. A fórmula do CEB [20] prevê utilizar um parâmetro p_k que se determina através de um fator k multiplicado por f_{ck} .

CEB [20]	$N_{Rk,p} = p_k \times A_h \quad [kN]$ $p_k = \begin{cases} 7,5f_{ck} = 7,5 \times 20 = 150 \text{ MPa} & (\text{betão fendilhado}) \\ 11f_{ck} = 11 \times 20 = 220 \text{ MPa} & (\text{betão não fendilhado}) \end{cases}$
-----------------	---

prEN1992-4:2013 [2]	$N_{Rk,p} = k_1 \times A_h \times f_{ck} \quad [kN]$ $k_1 \times f_{ck} = \begin{cases} 7,5f_{ck} = 7,5 \times 20 = 150 \text{ MPa} & (\text{betão fendilhado}) \\ 10,5f_{ck} = 10,5 \times 20 = 210 \text{ MPa} & (\text{betão não fendilhado}) \end{cases}$
--------------------------------	---

Curiosamente o valor apresentado no relatório do ROBOT ($p_k = 140 \text{ MPa}$) não se enquadra nas duas hipóteses previstas no CEB. Caso o valor estivesse correto a única diferença entre os resultados estaria associada ao valor do coeficiente parcial de segurança. Além disso é possível observar que o relatório apresenta um valor para o resultado errado (261,80kN quando o valor é de 488,70kN).

- Na verificação à rotura por cone de betão são obtidos valores bastante distintos. As diferenças residem nos seguintes parâmetros:
 - Valor de profundidade de embebimento adotado ($h_{ef}=225\text{mm}$) quando o valor deve ser de 500mm;
 - A fórmula do CEB [20] prevê um valor do parâmetro k distinto do previsto na pré-Norma [2].

CEB [20]	$N_{Rk,c}^0 = k_1 \times f_{ck}^{0,5} \times h_{ef}^{0,5} \quad [N]$ $k_1 = 7,5 \quad [N^{0,5}/mm^{0,5}]$
-----------------	---

prEN1992-4:2013 [2]	$N_{Rk,c}^0 = k_9 \times \sqrt{f_{ck}} \times h_{ef}^{0,5} \quad [N]$ $k_9 = 8,9$
--------------------------------	---

- As áreas associadas ao fenómeno de rotura estão erradas, não só devido ao valor de h_{ef} adotado como também na aplicação das expressões de cálculo;

CEB [20]	$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \times s_{cr,N} \quad [mm^2] \rightarrow A_{c,N}^0 = 675^2 = 455625 \quad mm^2$ $\neq 660000 \quad mm^2$ $s_{cr,N} = 3 \times h_{ef} \rightarrow 3 \times 225 = 675 \quad mm$
-----------------	---

- O coeficiente parcial de segurança é de 2,16, ao contrário do estabelecido na pré-Norma [2].

Todas as diferenças assinaladas contribuem significativamente para as discrepâncias entre os resultados.

- Tanto a pré-Norma [2] como o CEB [20] impõem condições que indicam a dispensa da verificação ao fenómeno de “splitting”, que para a ligação em estudo não se observou. A maior diferença presente na verificação à rotura por “splitting” deve-se ao valor de $s_{cr,sp}$ adotado. Na ferramenta de cálculo é adotado um $s_{cr,sp} = 4 \times h_{ef}$ devido ao artigo 10.1-4a do fib [12], enquanto o relatório apresenta um valor de $s_{cr,sp} = 2h_{ef}$. Devido a esta diferença e ao facto de mais uma vez as áreas associadas ao fenómeno estarem calculadas erradamente, são obtidos os resultados expostos no quadro acima.

- Na verificação à rotura do aço sem efeito de alavanca, para o esforço de corte, as discrepâncias entre os resultados justificam-se pela utilização de um parâmetro α_b que representa metade do valor do parâmetro k_{50} previsto na pré-Norma [2].

EC3 [19]	$F_{2,vb,rk} = \alpha_b \times f_{ub} \times A_{vb} [kN]$ $\alpha_b = 0,44 - 0,0003 \times f_{yb} \cong 0,25$
-----------------	---

prEN1992-4:2013 [2]	$V_{rk,s} = k_{50} \times A_s \times f_{uk} [kN]$ $k_{50} = 0,50$ $V_{rk,s,m} = (1 - 0,01 \times t_{grout}) \times k_{51} \times V_{rk,s} [kN]$ $k_{51} = 1,0$
--------------------------------	--

- Na verificação à rotura por “pry-out” as expressões de cálculo são iguais em ambos os documentos, a diferença entre resultados está associada ao facto de o valor da capacidade resistente para a rotura do cone de betão ter sido determinado anteriormente e terem sido encontrados valores distintos.
- A verificação à rotura do betão pelo bordo foi realizada em duas direções para ambas as normas técnicas, mas os resultados são bastante diferentes. Uma vez que o relatório não indicava de forma explícita a aplicação das expressões de cálculo para comparação de valores, foram identificadas as expressões de cálculo das duas normas técnicas e para um mesmo conjunto de dados, aplicaram-se de forma a perceber se estas traduziam resultados similares.

CEB [20]	$V_{Rk,c}^0 = k_4 \times d_{nom}^{0,5} \times \left(\frac{l_f}{d_{nom}} \right)^{0,2} \times f_{ck}^{0,5} \times c_1^{1,5} [kN]$ $V_{Rk,c}^0 = 0,5 \times 20^{0,5} \times \left(\frac{240}{20} \right)^{0,2} \times 20^{0,5} \times 1000^{1,5} = 519,80 kN$
-----------------	---

prEN1992-4:2013 [2]	$V_{Rk,c}^0 = k_5 \times d_{nom}^\alpha \times l_f^\beta \times \sqrt{f_{ck}} \times c_1^{1,5} [kN]$ $V_{Rk,c}^0 = 1,7 \times 20^{0,049} \times 240^{0,0457} \times \sqrt{20} \times 1000^{1,5} = 357,68 \text{ kN}$
--------------------------------------	--

Como se pode verificar, a aplicação das expressões de cálculo indicam uma diferença significativa nos resultados. Aliado ao facto de não se ter conhecimento das áreas associadas ao fenómeno no relatório do CEB [20] e restantes parâmetro não foi possível determinar com certeza a razão das discrepâncias assinaladas, ainda assim consideraram-se validadas as secções utilizadas da ferramenta de cálculo uma vez que os valores encontrados são inferiores aos do relatório do ROBOT. Conclui-se que apesar de o relatório do ROBOT indicar que é verificada a segurança da ligação, tal não foi possível assegurar com a aplicação da ferramenta de cálculo.

Os relatórios de cálculo e respetivos resultados são apresentados no Anexo I.

5.4.1.2 Método II: Verificação e comparação dos relatórios de cálculo de uma ligação pré-dimensionada pelo “software” Profis Anchor da Hilti para buchas mecânicas.

Na validação das folhas programadas para o dimensionamento de buchas mecânicas, foi utilizada uma solução pré-dimensionada através do “software” Profis Anchor da Hilti, cujas características são:

- Chapa de base metálica (500 x 500 x 20) mm³;
- 4 buchas mecânicas HST M20 (classe 8.8)
- Perfil metálico HEA 320
- Profundidade de embebimento, hef= 101mm.

Os esforços atuantes na ligação são: 20kN (axial) e 50kN (corte na direção y). As folhas a consultar para uma ligação com estas características foram:

- ASA-BM (esforço axial sem armadura para buchas mecânicas)
- CSA-sEA (esforço de corte sem armadura sem efeito de alavanca)
- A+CSA (esforços axial e de corte sem armadura)

Durante a utilização da ferramenta de cálculo foi necessário consultar a ETA 98/0001 [21] para retirar os valores associados aos fenómenos de rotura do aço e rotura por “pull-out”.

Quadro 5.13 - Comparação entre os valores obtidos no relatório da Hilti para buchas mecânicas e no relatório da ferramenta de cálculo.

Verificação ao esforço axial	prEN1992-4:2013 [2]			“Software” Profis Anchor		
				Anexo C – ETAG001 [13]		
	Nrk,i [kN]	γ	Nrd,i [kN]	Nrk,i [kN]	γ	Nrd,i [kN]
Rotura do aço	117.00	1.50	78.00	117.00	1.50	78.00
Rotura por "pull-out"	30.00	1.50	20.00	30.00	1.50	20.00
Rotura por cone de betão	96.32	1.50	64.22	100.70	1.50	67.13
Rotura por "splitting"	N/A			N/A		
Verificação ao esforço de corte	Vrk,i [kN]	γ	Vrd,i [kN]	Vrk,i [kN]	γ	Vrd,i [kN]
Rotura do aço sem efeito de alavanca	84.00	1.25	67.20	84.00	1.25	67.20
Rotura por "pry-out"	240.81	1.50	160.54	251.76	1.50	167.84
Rotura do betão pelo bordo na direção 1	145.35	1.50	96.90	162.51	1.50	108.34
Rotura do betão pelo bordo na direção 2	N/A			N/A		

Analisando o Quadro 5.13 conclui-se que as verificações realizadas pelos dois tipos de normas conduzem a resultados idênticos, assinalando-se diferenças pouco significativas nas verificações da rotura por cone de betão, por “pry-out” e rotura do betão pelo bordo.

Comparando as expressões de cálculo da pré-Norma [2] com as da ETAG 001 [13] verifica-se que a discrepância existente nos resultados para a capacidade resistente à rotura por cone de betão justifica-se através do fator “ k ” que é implícito no cálculo de $N_{Rk,c}^0$. Considerando um betão fendilhado, este fator assume o valor de 7,7 na pré-Norma [2] enquanto na ETAG001 [13] de 7,2.

Por consequência, o valor da capacidade resistente á rotura por “pry-out” é afetado pois depende diretamente do valor característico da capacidade resistente á rotura por cone de betão.

Na verificação da rotura do betão pelo bordo, a diferença justifica-se por na expressão de cálculo de $V_{Rk,c}^0$ da pré-Norma [2] se utilizar o valor de f_{ck} e na ETAG 001 [13] se utilizar o valor de $f_{ck,cube}$.

Conclui-se que é verificada a segurança da ligação tendo em conta as verificações previstas nos dois documentos. Conclui-se também que ferramenta está apta na validação de ligações que utilizem buchas mecânicas como solução

Os relatórios de cálculo e os respetivos resultados serão apresentados no ANEXO II.

5.4.1.3 Método III: Verificação e comparação dos relatórios de cálculo de uma ligação pré-dimensionada pelo “software” Profis Anchor da Hilti para buchas químicas.

Para verificação da ferramenta de cálculo no que diz respeito ao dimensionamento de buchas químicas, escolheu-se uma ligação que pertence a um projeto concluído cuja responsabilidade foi da SE2P, mas que se considerou ser um objeto de estudo e apresentação notável dada a sua funcionalidade final. A ligação foi dimensionada com recurso ao “software” Profis Anchor da Hilti, com o objetivo de unir uma estrutura metálica a um pilar de uma ponte. O propósito dessa estrutura metálica era o de assegurar a fixação das gruas existentes na obra aos elementos de betão, uma vez que estas se encontravam afastadas dos pilares.

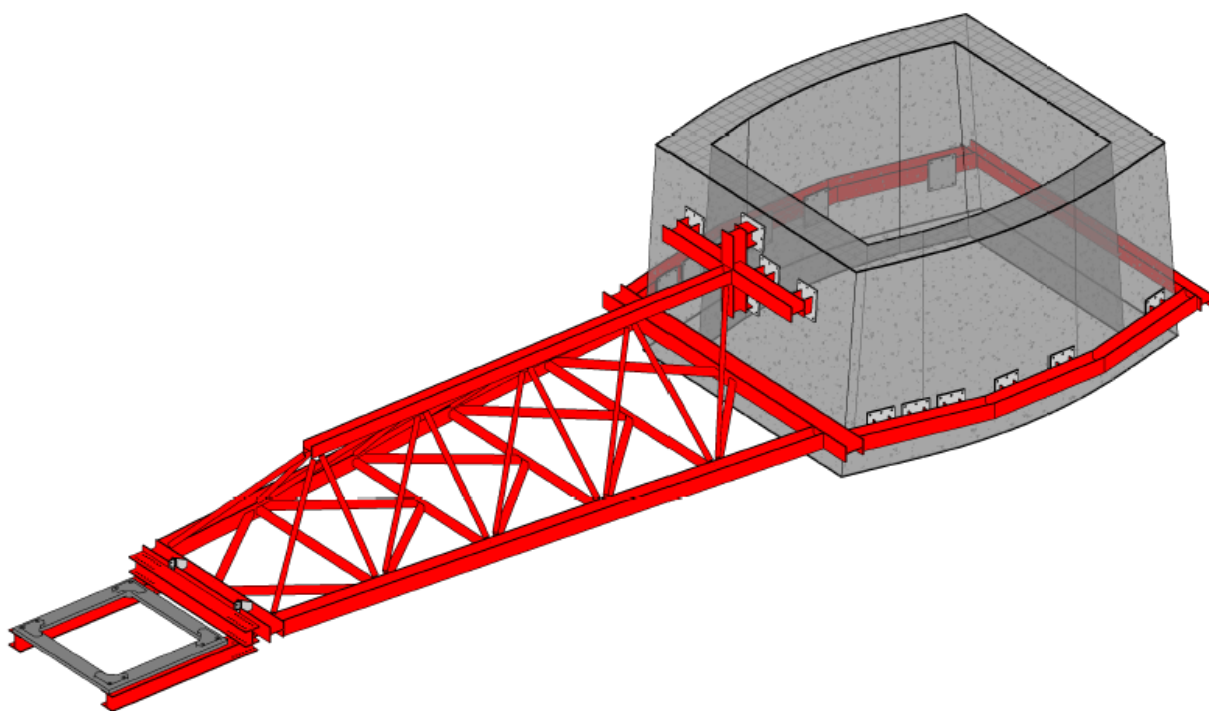


Figura 5.16 - Perspetiva do pilar, estrutura metálica e respetivas ligações, associadas ao método III.

[SE2P]

A ligação a dimensionar (Figura 5.17, Figura 5.18 e Figura 5.19) localiza-se num pilar de secção variável em betão armado (C50/60) e é constituída por:

- Chapa de base metálica (600 x 500 x 25) mm³;
- 6 buchas químicas tipo Hilti: HIT-RE + HAS-E (classe 8.8) M27
- Perfil metálico HEB 300;
- Camada de argamassa não retrátil (grout) de altura variável;
- Profundidade de embebimento, hef= 240mm.

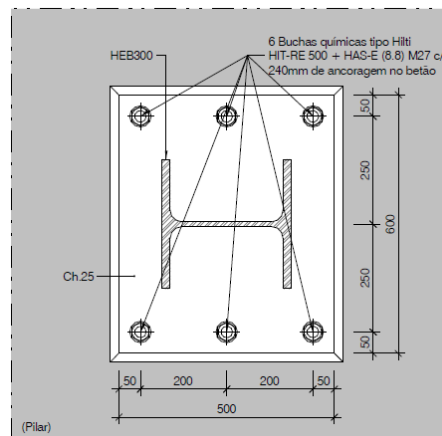


Figura 5.17 - Pormenor em planta da ligação a verificar, associada ao método III. [SE2P]

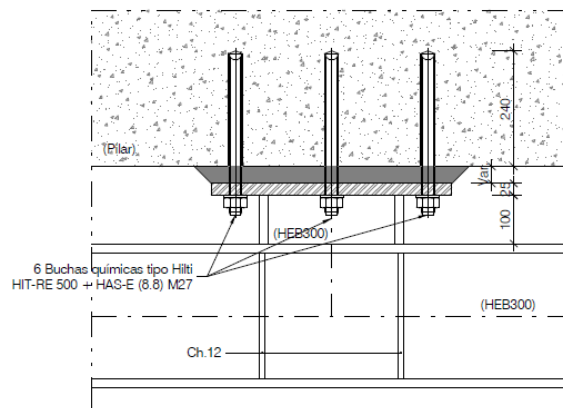


Figura 5.18 - Pormenor I em corte da ligação a dimensionar, associado ao método III. [SE2P]

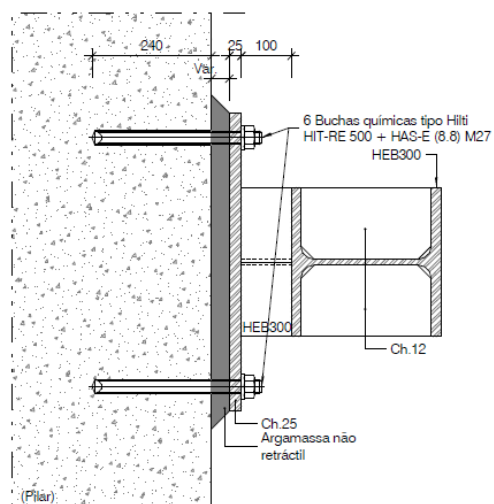


Figura 5.19 - Pormenor II em corte da ligação a dimensionar, associado ao método III. [SE2P]

Os esforços atuantes na ligação são: 200 kN (axial) e 200 kN (corte).

As folhas a consultar para uma ligação com estas características foram apenas as que estão associados ao Estado limite último de rotura:

- ASA-BQ (esforço axial sem armadura para buchas químicas)
- CSA-sEA (esforço de corte sem armadura sem efeito de alavanca)
- A+CSA (esforços axial e de corte sem armadura)

Quadro 5.14 - Comparação entre os valores obtidos no relatório da Hilti e no relatório da ferramenta de cálculo.

Verificação ao esforço axial	prEN1992-4:2013 [2]			“Software” Profis Anchor		
				EOTA TR029[14]		
	Nrk,i [kN]	γ	Nrd,i [kN]	Nrk,i [kN]	γ	Nrd,i [kN]
Rotura do aço	367.00	1.50	244.67	367.00	1.50	244.67
Rotura por combinação de fenómenos	686.89	2.10	327.09	687.83	2.10	327.54
Rotura por cone de betão	474.23	2.10	225.82	476.99	2.10	227.14
Rotura por "splitting"	N/A			N/A		
Verificação ao esforço de corte	Vrk,i [kN]	γ	Vrd,i [kN]	Vrk,i [kN]	γ	Vrd,i [kN]
Rotura do aço sem efeito de alavanca	183.76	1.25	147.01	184.00	1.25	147.20
Rotura por "pry-out"	948.45	1.50	632.30	953.97	1.50	635.98
Rotura do betão pelo bordo na direção 1	N/A			N/A		
Rotura do betão pelo bordo na direção 2	N/A			N/A		

Analisando o Quadro 5.14 conclui-se que os resultados obtidos pela aplicação do “*software*” da Hilti e pela ferramenta de cálculo são idênticos. Esta situação era a esperada uma vez que são utilizadas expressões de cálculos idênticas, valores característicos e coeficientes parciais iguais, obtidos através da consulta da ETA 04/0027 [22]. As diferenças assinaladas são mínimas e estão associadas a possíveis arredondamentos.

Conclui-se portanto que a ligação pré-dimensionada respeita os requisitos de segurança previstos na prEN1992-4:2013 [2] e na EOTA TR029 [14]. Conclui-se também que está validada a ferramenta no que diz respeito ao dimensionamento de ligações aço-betão que utilizem buchas químicas como solução.

Os relatórios de cálculo e os respetivos resultados serão apresentados no ANEXO III.

5.4.2 Dimensionamento de ligações aço-betão: canais de ancoragem

A ferramenta de cálculo em questão, tal como já mencionado, apenas dimensiona ligações que utilizem canais de ancoragem. Por essa mesma razão a quantidade de exemplos e métodos aplicados na validação da ferramenta foram limitados optando-se por validar a ferramenta com o único exemplo de dimensionamento realizado.

Foi então utilizada uma ligação que pertence ao projeto do caso de estudo, sendo assim, as informações relacionadas com a validação da ferramenta de cálculo II serão apresentadas no subcapítulo 6.5.

6 CASO DE ESTUDO

O presente capítulo traduz a aplicação das ferramentas de cálculo a um caso de estudo que engloba um conjunto de diferentes tipos de ligações aço-betão. Pretende-se com isto, verificar, através da aplicação da prEN1992-4:2013 [2] a validade do dimensionamento efetuado com recurso ao programa de cálculo ROBOT e realizar testes paramétricos.

6.1 DESCRIÇÃO

O caso de estudo selecionado trata-se de um edifício cujo projeto de estabilidade é da responsabilidade da SE2P. Trata-se de um edifício de habitação que possui a particularidade de a obra estar dividida em duas fases, sendo que a primeira realizou-se entre 2007 e 2009 e a segunda decorre atualmente, inspirando assim cuidados acrescidos a nível estrutural.

O projeto da primeira fase previa a construção de um edifício integralmente em betão armado e contemplou a execução de 6 pisos enterrados enquanto na segunda fase, o projeto de arquitetura foi alterado tendo como consequência a incompatibilidade do posicionamento dos pilares da estrutura já executada com os pilares dos pisos destinados a habitação. Sendo assim, optou-se por conceber uma solução estrutural diferente do piso 1 para baixo e do piso 1 para cima, para esse efeito prevê-se uma laje de transferência de cargas que apoia os pilares dos pisos superiores e encaminha as ações para os pilares dos pisos inferiores.

Com o objetivo de se reduzir as ações devidas ao peso próprio da nova estrutura, diminuindo também os esforços de dimensionamento da laje de transferência de cargas, para os pisos destinados a habitação concebeu-se uma estrutura metálica e mista, onde os pilares são metálicos e as vigas e lajes são mistas aço-betão.

6.2 ARQUITETURA

O edifício desenvolve-se em planta sob forma de um arco com um comprimento médio de cerca de 77m e uma largura de aproximadamente 14,5m, sendo constituído por 14 pisos, 6 caves destinadas a estacionamento e 8 pisos elevados destinados a habitação (Figura 6.1 e Figura 6.2).

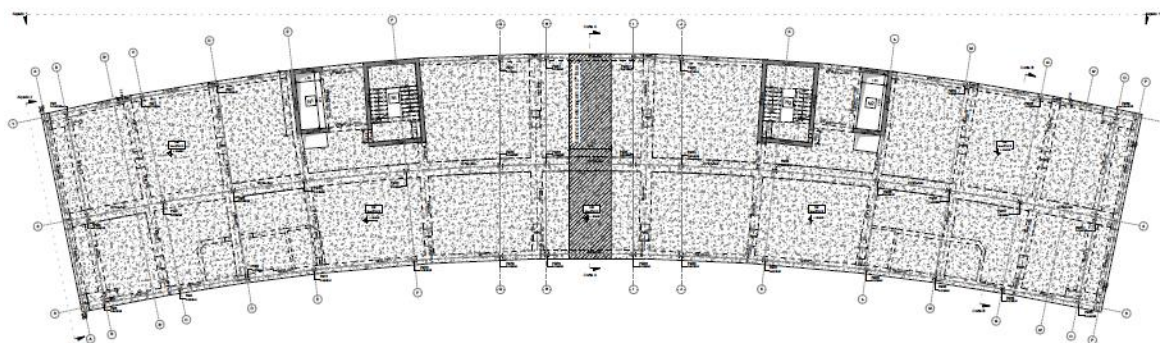


Figura 6.1 - Planta do piso 1 associado à 2ª fase da obra. [SE2P]

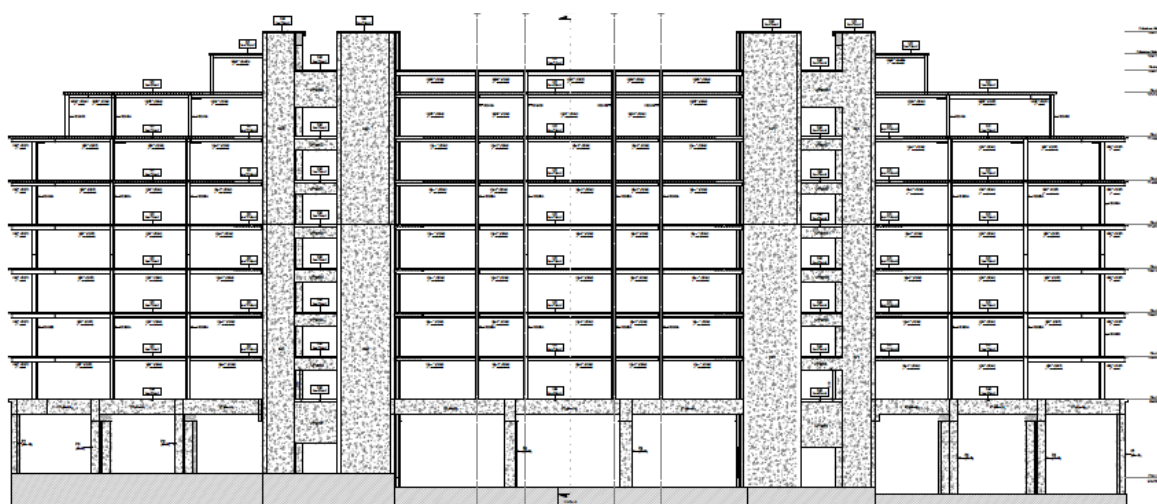


Figura 6.2 - Alçado do projeto associado à 2ª fase da obra. [SE2P]

6.3 LIGAÇÕES AÇO-BETÃO

No edifício em estudo existem três tipos de ligação de bas aço-betão:

- Ligação de base – Tipo 1
- Ligação de base – Tipo 2
- Ligação de base – Tipo 3

Além das ligações enunciadas acima, existe ainda um quarto tipo de ligação aço-betão que contempla soluções de dispositivos de ancoragem cuja finalidade é a fixação dos painéis envidraçados da fachada do edifício.

Nas ligações de base – Tipo 1, 2 e 3 são utilizados chumbadouros, enquanto no quarto tipo utilizam-se canais de ancoragem.

6.3.1 Identificação e apresentação das ligações de base aço-betão ao nível do piso 1

No presente subcapítulo pretende-se identificar os diferentes tipos de ligação de base aço-betão e a sua respetiva localização ao nível do piso 1.

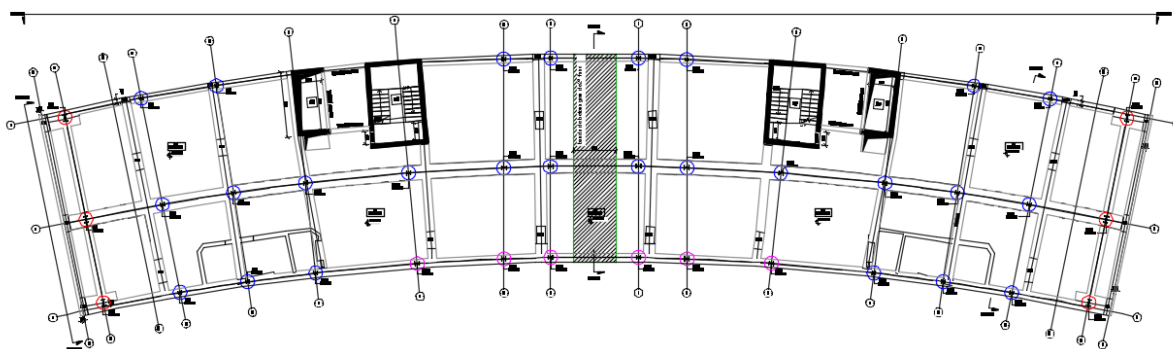




Figura 6.3 - Identificação dos três tipos de ligação aço-betão existentes ao nível do piso 1. [SE2P]

Quadro 6.1 - Identificação dos tipos de ligação aço-betão de base existentes ao nível do piso 1.

Tipo de ligação	Perfil	ID	Representação na Figura 6.3
1	HE260A	PM4 – PM6 – PM7 – PM9 – PM11 – PM14 – PM17 – PM20 – PM23 – PM 29 – PM30 – PM32 – PM33 – PM35	
	HE280B	PM5 – PM10 – PM28 – PM34	
	HE300B	PM8 – PM31	
	HE320A	PM12 – PM26	

	HE360B	PM15 – PM18 – PM21 – PM24	
2	HE320A	PM16 – PM19 – PM22 – PM25	
	HE320B	PM13 – PM27	
3	HE450B	PM1 – PM2 – PM3 – PM36 – PM37 – PM38	

Para efeitos de dimensionamento, aplicar-se-á a ferramenta de cálculo desenvolvida para chumbadouros á ligação do tipo 2, uma vez que os outros dois tipos não se enquadram nas soluções e disposições previstas na pré-Norma [2]. Para realização dos testes paramétricos, aplicar-se-á a mesma ferramenta a uma ligação com a mesma disposição geométrica que a ligação do tipo 1 mas que estará submetida a um conjunto de esforços diferentes dos que a ligação está realmente submetida.

6.3.2 Identificação e apresentação das ligações de aço-betão de fachada

As ligações aço-betão utilizadas na fachada são os canais de ancoragem do fabricante Hilti. Na Figura 6.4 é possível identificar a localização desse tipo de ligação. A sua localização ao nível dos pisos será determinada consoante o tipo de painel envidraçado e distâncias adotadas pelo projetista responsável da fachada.

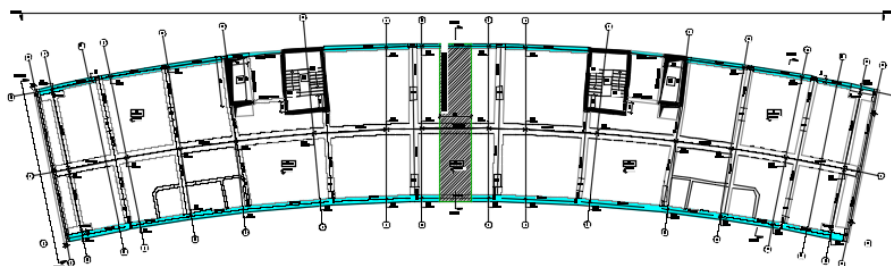


Figura 6.4 - Localização das ligações aço-betão de fachada.[SE2P]

Quadro 6.2 - Identificação do tipo de ligação aço-betão de fachada.

Tipo de ligação	Canal de ancoragem	
	Canal	Parafuso
Fachada	HAC-40	HBC-C 8.8

6.4 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE CÁLCULO: “DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES AÇO-BETÃO: CHUMBADOUROS, BUCHAS QUÍMICAS E MECÂNICAS”

6.4.1 Verificação da segurança da ligação do tipo 2

A ligação do tipo 2 a verificar possui as seguintes características:

- Chapa de base metálica (600 x 540 x 34) mm³ em S355
- 8 chumbadouros M24 (classe 8.8)
- Perfil metálico HEA 320;
- Profundidade de embebedimento, h_{ef} = 400mm.
- Placa de resistência (100 x 100 x 10) mm³
- Elemento de betão C30/37 (3000 x 600 x 1000) mm³

Estando submetida ao seguinte conjunto de esforços de compressão (-1574,37 kN), de corte nas duas direções (11,23 kN e 12,47 kN) e momento fletor também nas duas direções (14,51 kNm e 35,83 kNm).

Após a introdução dos dados verificou-se que os requisitos geométricos da solução adotada eram cumpridos, nomeadamente o espaçamento entre chumbadouros, a distância ao bordo e a altura mínima do elemento de betão.

A pré-Norma [2] não prevê o dimensionamento de ligações aço-betão à compressão. Sendo assim na utilização da ferramenta de cálculo só foi necessário proceder às verificações para esforços de corte, para o efeito foi realizada a distribuição dos esforços com recurso ao “software” Profis Anchor.

Para efeitos de dimensionamento considerou-se ainda a inexistência de armadura no elemento de betão armado.

A folha a consultar para uma ligação com estas características foi apenas a correspondente a esforços de corte:

- CSA-sEA (esforço de corte sem armadura sem efeito de alavanca)

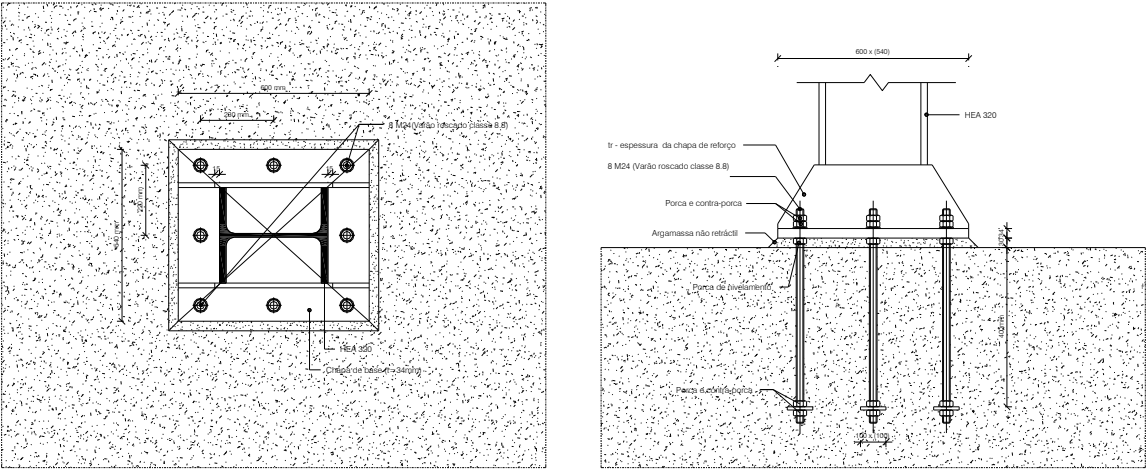


Figura 6.5 - Pormenores construtivos (em planta e corte) da ligação tipo 2 do caso de estudo. [SE2P]

No presente subcapítulo, apenas serão apresentados os resultados para a folha de cálculo, uma vez que no capítulo anterior já foram efetuadas as validações necessárias às ferramentas de cálculo.

Quadro 6.3 - Quadro Resumo retirado da folha de cálculo 'CSA-sEA'.

III Quadro Resumo				
	Modo de rotura	Ved [kN]	Vrd [kN]	Rácio
CSA - sEA	Rotura do aço sem efeito de alavanca	2.10	112.75	0.019
	Rotura do betão pelo bordo na direção 1	16.78	41.04	0.409
	Rotura do betão pelo bordo na direção 2	N/A	N/A	N/A
	Rotura por "pry-out"	16.78	266.14	0.063

Verifica-se a segurança da ligação pré-dimensionada com recurso ao “software” ROBOT.

6.4.2 Testes paramétricos

A realização de testes paramétricos tem como objetivo estudar a influência da variação dos parâmetros associados a uma ligação aço-betão, com as mesmas características que as apresentadas pela ligação do tipo 1.

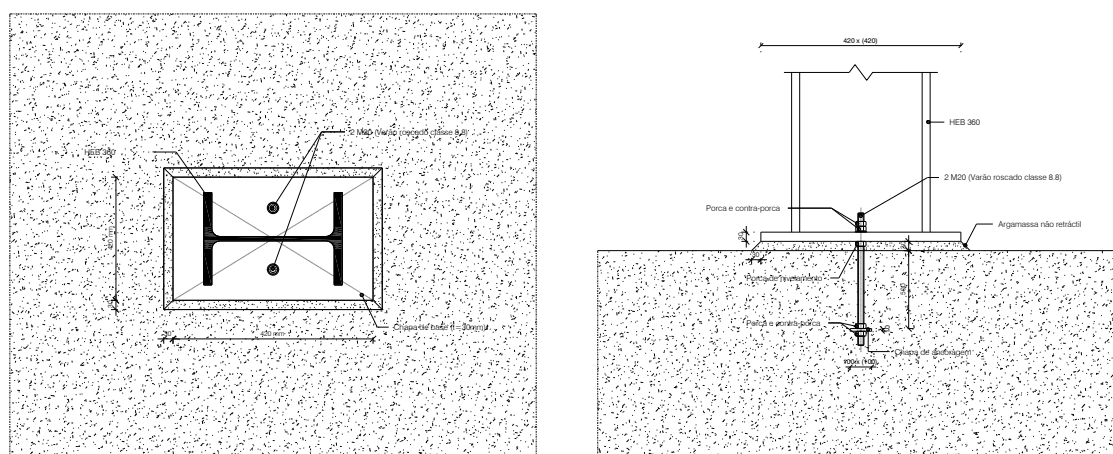


Figura 6.6 - Pormenor construtivo da ligação do tipo 1. [SE2P]

Os testes realizados tiveram como ligação de referência a de aço-betão do tipo 1 do caso de estudo, tendo sido aplicados um conjunto de esforços diferentes (axial de 25kN e corte na direção y de 70kN) dos que realmente a ligação está submetida.

6.4.2.1 Influência da profundidade de embebimento, h_{ef}

O primeiro parâmetro a variar foi a profundidade de embebimento. A ligação em estudo possui um $h_{ef}=500\text{mm}$. Considerou-se pertinente testar este valor no intervalo de 100mm a 600mm (sendo a altura do elemento de betão de 1000mm), não só para perceber a sua influência mas também para verificar a existência de restrições relacionadas com valores mínimos e máximos de profundidade de embebimento.

O Gráfico 6-1 traduz a influência de h_{ef} [mm] em h_{min} [mm] e tal como seria de esperar, quanto maior for a profundidade de embebimento maior será o valor mínimo para a altura do elemento de betão. Verificou-se que sendo a altura do elemento de betão 1000mm, para as amostras de valores de h_{ef} eram cumpridos os respetivos h_{min} associados.

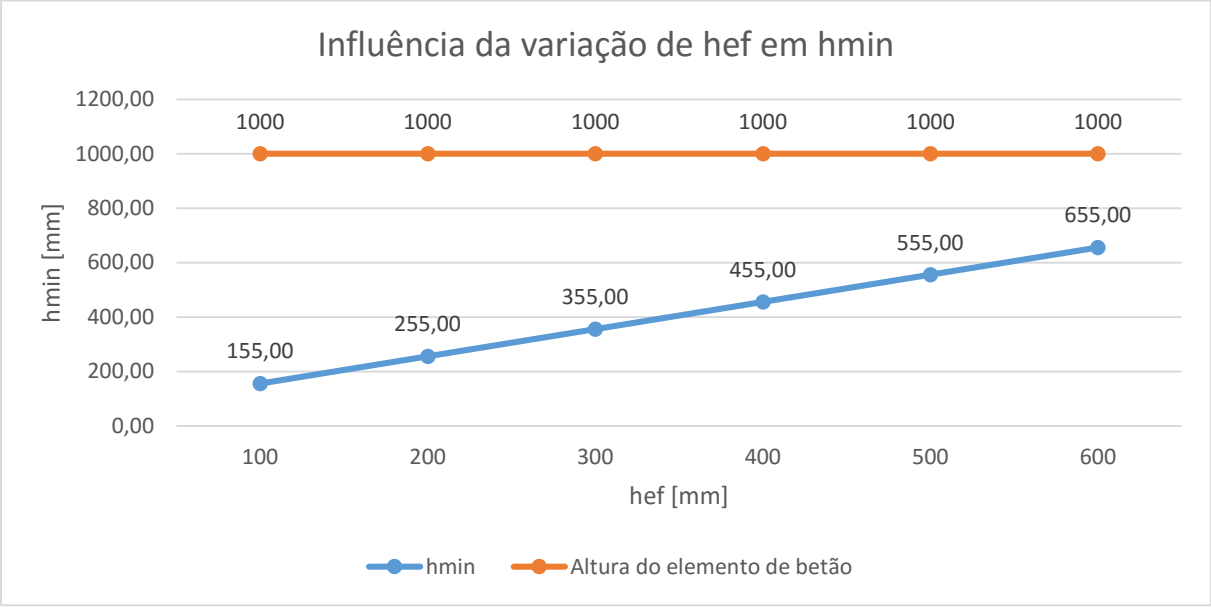


Gráfico 6-1 - Influência da profundidade de embebedimento na altura mínima do elemento de betão.

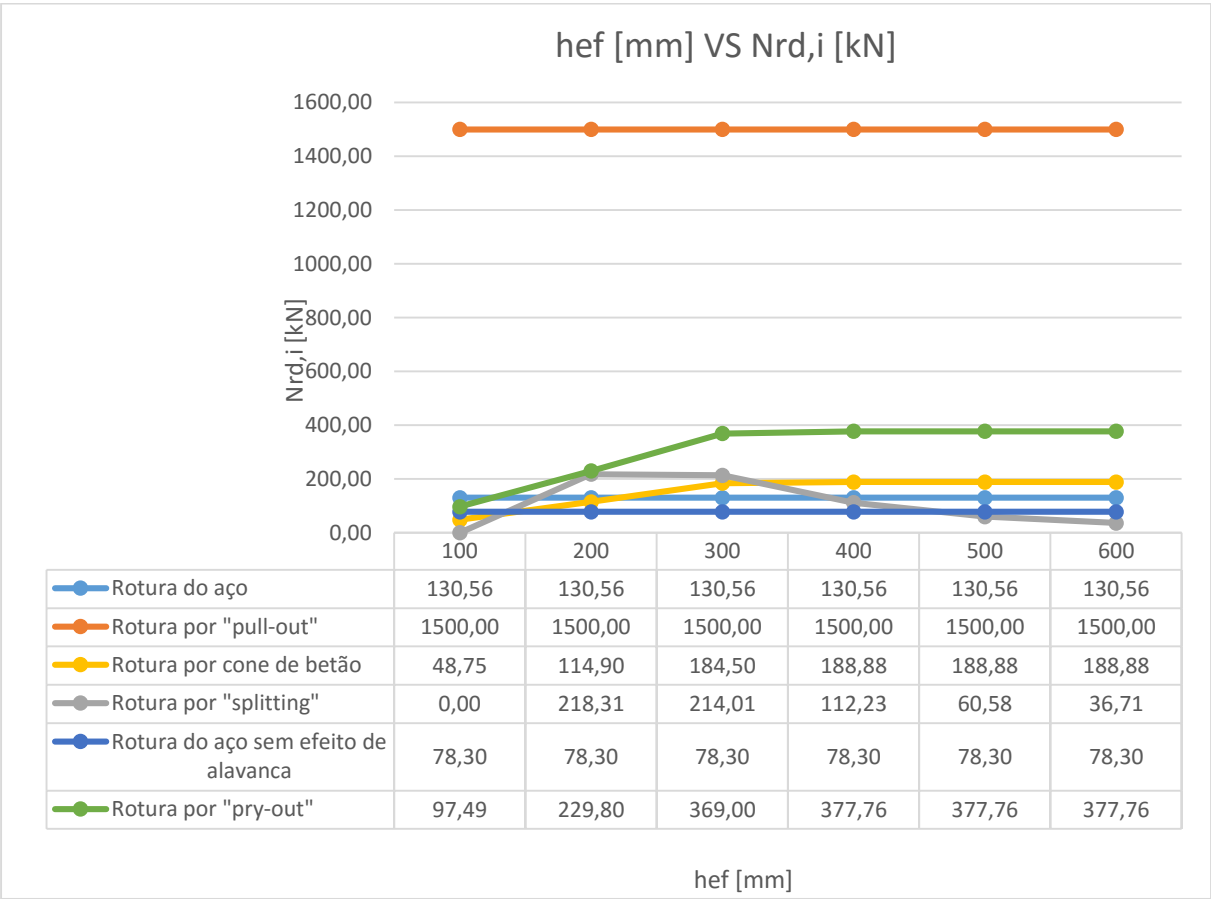


Gráfico 6-2 - Influência da profundidade de embebedimento na capacidade resistente da ligação.

Da análise do Gráfico 6-2, conclui-se que os modos de rotura que estão diretamente associados à profundidade de embebedimento de um determinado dispositivo de ancoragem são: a rotura por cone de betão, a rotura por “splitting” e a rotura por “pry-out”.

Na verificação da rotura por cone de betão, é possível observar um aumento da capacidade resistente ao mesmo tempo que h_{ef} aumenta. Esta variação deve-se ao facto de h_{ef} ser um parâmetro utilizado nas expressões de cálculo de $N_{Rk,c}^0$. A partir de $h_{ef}=400\text{mm}$, o valor da capacidade resistente mantém-se devido à relação entre áreas $A_{c,N}/A_{c,N}^0$ não se alterar. Uma vez que a determinação da capacidade resistente á rotura por “pry-out” depende da capacidade resistente á rotura por cone de betão é esperado que este valor também aumente e que por consequência se mantenha também inalterável a partir de $h_{ef}=400\text{mm}$.

Na verificação da rotura por “splitting” constata-se que a capacidade resistente à ocorrência deste fenómeno diminui. À medida que o valor da profundidade de embebedimento aumenta, o valor de $c_{cr,sp}$ também aumenta. Ora este parâmetro interfere na relação $A_{c,N}/A_{c,N}^0$ provocando dessa forma a diminuição da capacidade resistente. É de salientar que para um valor de $h_{ef}=100\text{mm}$, o valor apresentado é zero. Este valor representa na realidade que para este valor de profundidade de embebedimento não se verifica a rotura por “splitting”.

Verificou-se ainda que para um $h_{ef}=100\text{mm}$ não era verificada a segurança da ligação à rotura por cone de betão e para um $h_{ef}=600\text{mm}$ não era verificada a segurança da ligação á ocorrência do fenómeno de “splitting”.

Conclui-se que para a amostra de valores testados, a ligação cumpre todos os requisitos de segurança para valores de profundidade de embebedimento entre 200 e 500 mm.

6.4.2.2 Influência do espaçamento, s_2

No estudo da influência deste parâmetro, foram efetuados testes relacionados com o espaçamento de dispositivos de ancoragem apenas na direção 2, pois na direção 1 o espaçamento é zero.

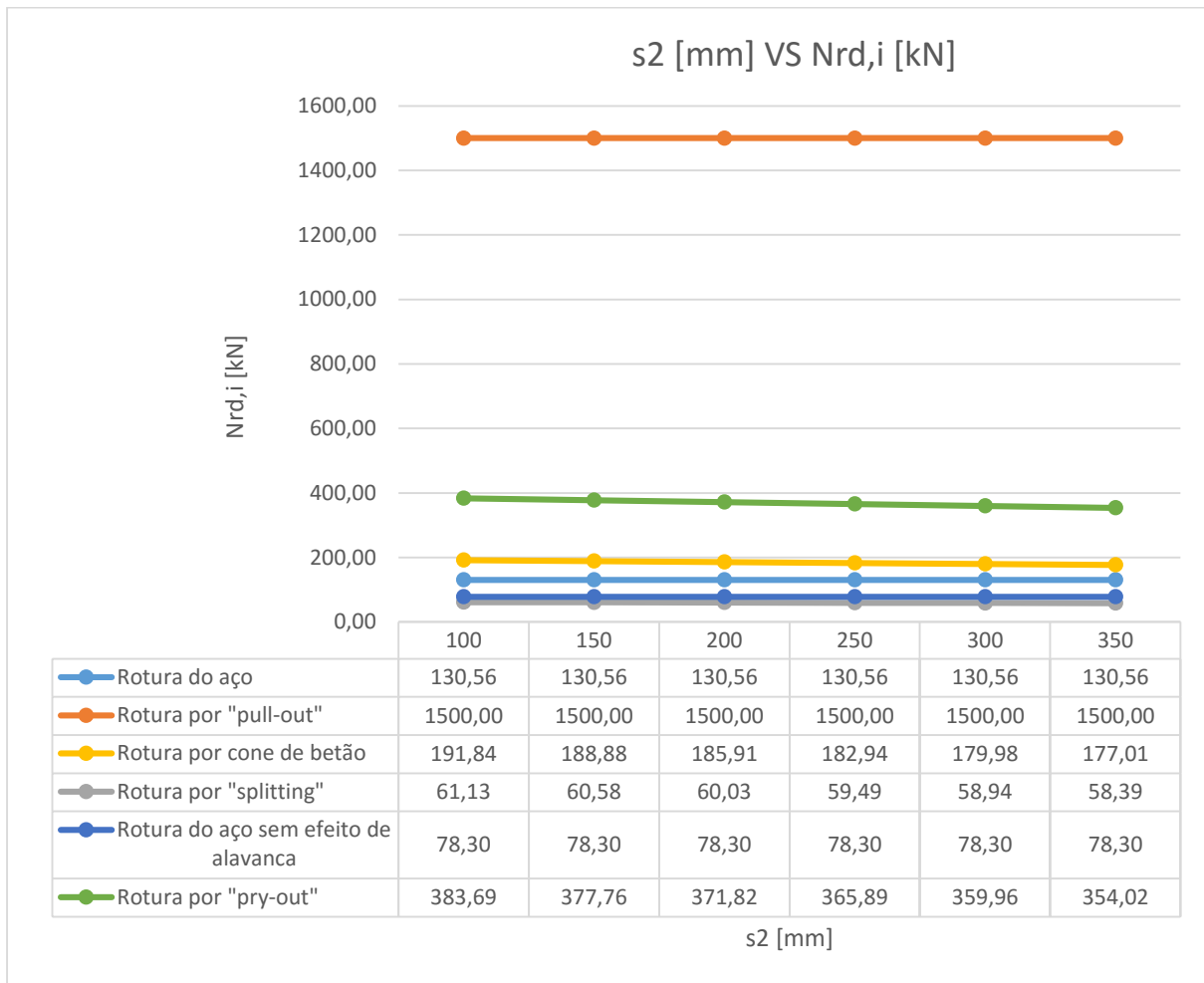


Gráfico 6-3 - Influência do espaçamento entre ancoragens na direção 2 na capacidade resistente da ligação.

Da análise do gráfico exposto imediatamente acima é possível verificar que os modos de rotura que estão diretamente associados com a variação do valor do parâmetro s_2 são: a rotura por cone de betão, a rotura por "splitting", e a rotura por "pry-out". Em ambos os modos de rotura, conclui-se que quanto maior for s_2 , menor será a capacidade resistente, isto deve-se ao facto de quanto maior for o espaçamento, menor é a distância ao bordo. Tendo em conta a ligação em estudo, as áreas solicitadas para cada fenómeno e o facto de h_{ef} não variar, o único parâmetro que varia é a distância ao bordo. Uma diminuição desse parâmetro reflete-se na capacidade resistente da ligação.

6.4.2.3 Influência do diâmetro, d

Sendo o diâmetro da solução de referência de 20mm, os valores do diâmetro variaram entre 10-22mm.

O valor do espaçamento mínimo entre ancoragens está diretamente relacionado com o valor do diâmetro adotado, sendo assim, tal como esperado, o aumento do valor do diâmetro conduz a um aumento do valor de s_{min} . Da análise do Gráfico 6-4, conclui-se que para a gama de valores estudados, era cumprido o valor mínimo de espaçamento.

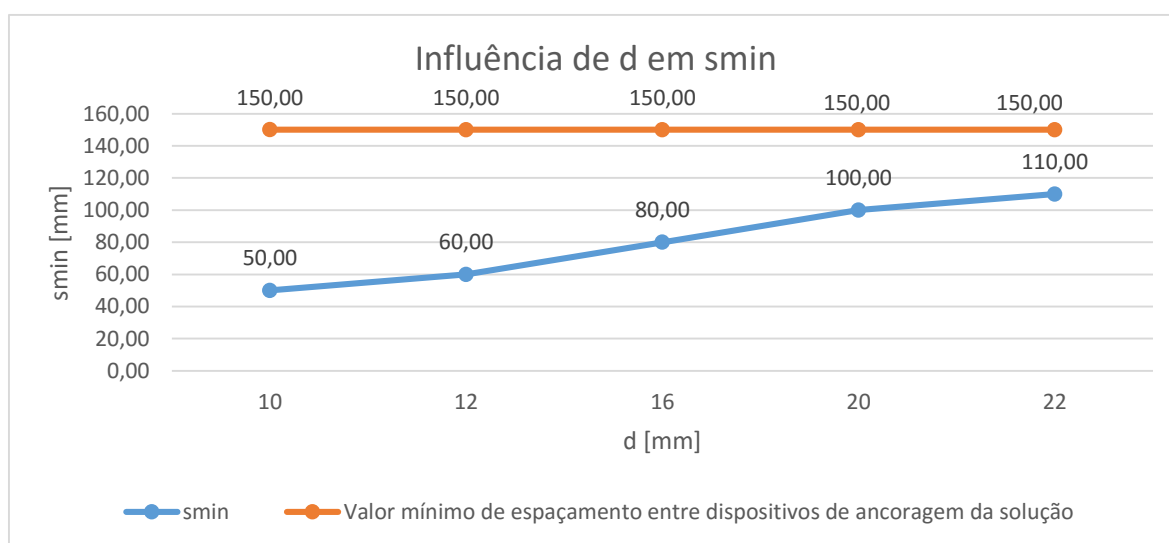


Gráfico 6-4 - Influência do diâmetro no valor de espaçamento mínimo entre dispositivos de ancoragem.

O valor de diâmetro também interfere diretamente na determinação do valor de distância mínima ao bordo. Analisando o Gráfico 6-5, verifica-se a existência de uma enorme diferença entre o valor mínimo de referência de distância ao bordo e o valor mínimo a que efetivamente os dispositivos de ancoragem estão do bordo. Na ligação em estudo, os dispositivos de ancoragem encontram-se suficientemente afastados dos bordos para que não seja necessário verificar a segurança quanto á rotura do betão pelo bordo.

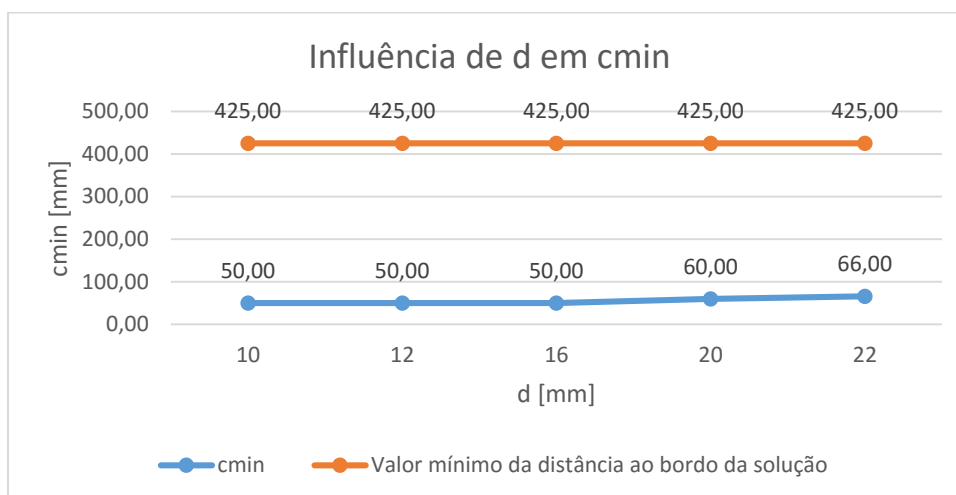


Gráfico 6-5 - Influência do diâmetro no valor mínimo da distância ao bordo da solução

O aumento do valor de diâmetro provoca o aumento da altura mínima do elemento de betão. Verificou-se para a gama de valores estudados que todas as soluções cumpriam os requisitos geométricos.

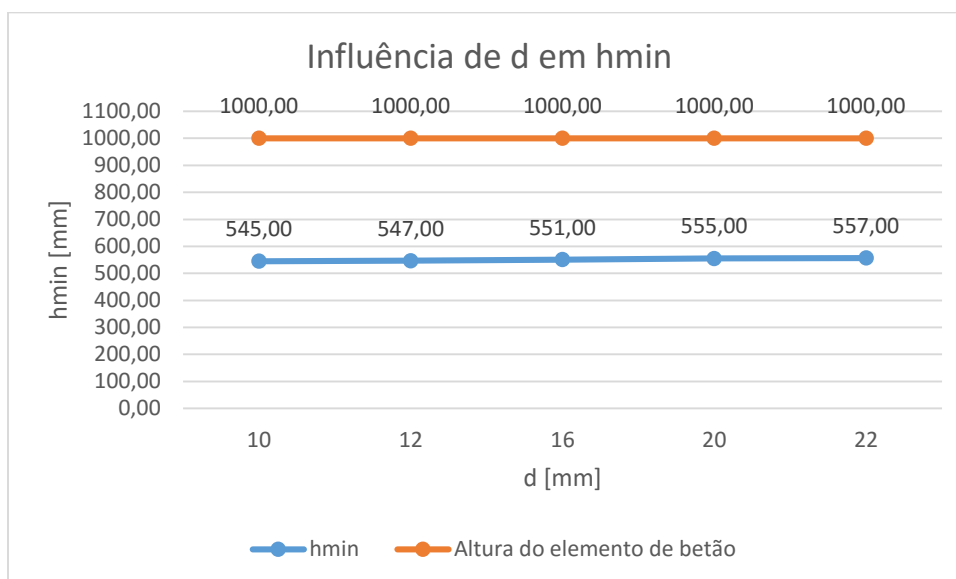


Gráfico 6-6- Influência do diâmetro na altura mínima do elemento de betão.

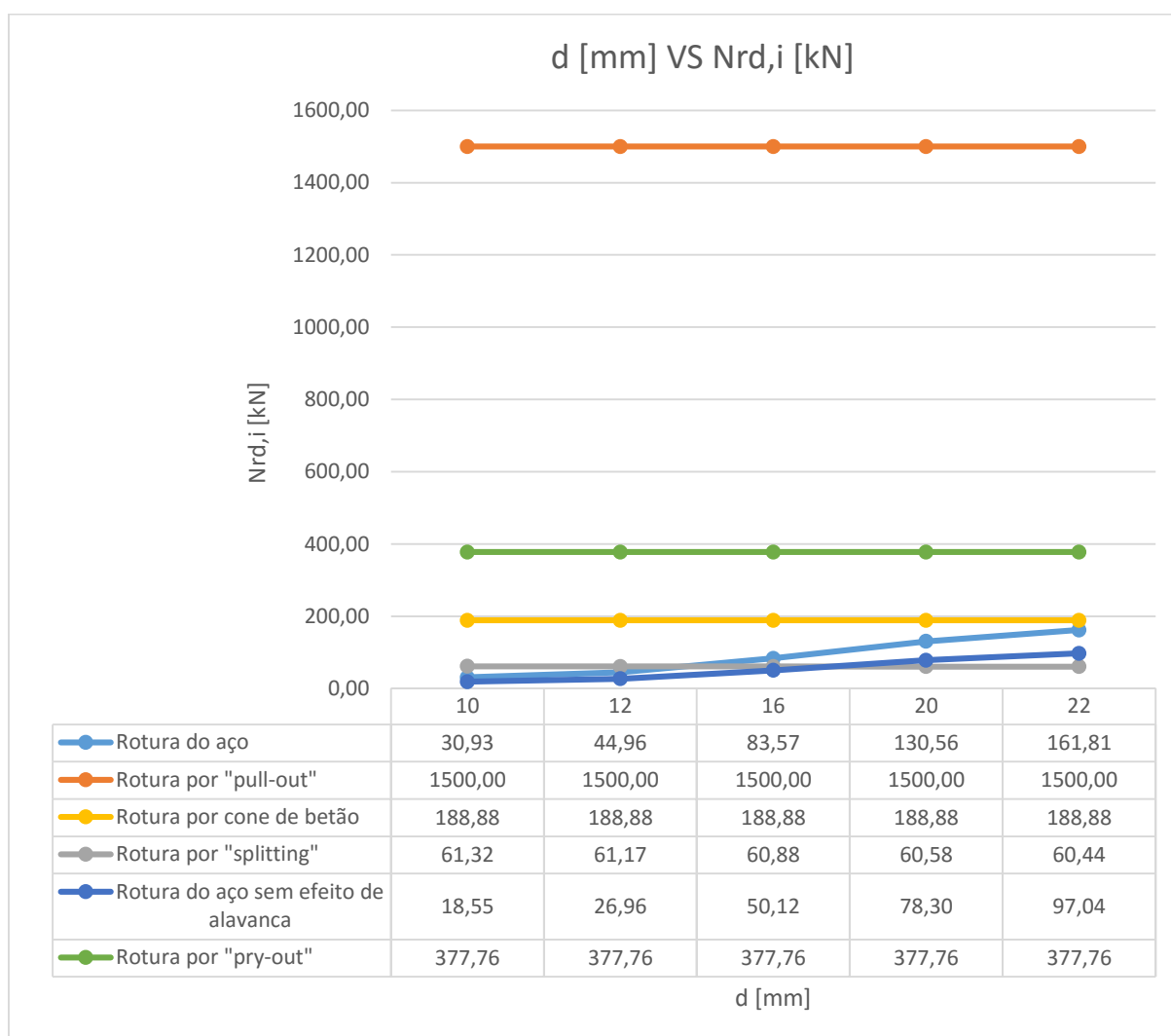


Gráfico 6-7 - Influência do diâmetro na capacidade resistente da ligação.

Através da consulta do Gráfico 6-7 conclui-se que a variação do valor de diâmetro interfere diretamente nas capacidades resistentes à rotura do aço, à rotura por “splitting” e na rotura do aço sem efeito de alavanca. Como seria de esperar, quanto maior for o valor do diâmetro maiores serão as capacidades resistentes à rotura do aço (esforço axial) e à rotura do aço sem efeito de alavanca (esforço de corte). Por sua vez, com o aumento do diâmetro existe uma diminuição da capacidade resistente ao fenómeno de “splitting”, devendo-se isto ao facto de o valor de diâmetro interferir diretamente no valor de h_{min} que por sua vez influencia o cálculo do parâmetro de $\Psi_{h,sp}$. Quanto maior for h_{min} , menor será o valor de $\Psi_{h,sp}$ o que por consequência conduz a uma capacidade resistente á rotura por “splitting” inferior. (Ver Quadro 4.12)

6.4.2.4 Influência do número de chumbadouros, n e respetiva distância ao bordo, c

Sendo o número de chumbadouros um dos parâmetros mais importantes no dimensionamento de uma ligação aço-betão foram realizados testes com o objetivo de compreender a influência não só do aumento do número de chumbadouros numa ligação assim como a influência do aumento da distância ao bordo. Para esse feito foram testadas as seguintes quatro hipóteses:

- 2 chumbadouros com $c_1=500$ mm (solução de referência)
- 4 chumbadouros com $c_1=500$ mm
- 4 chumbadouros com $c_1=425$ mm
- 6 chumbadouros com $c_1=425$ mm

O estudo deste subcapítulo apresentará três gráficos distintos, o primeiro traduz a influência do aumento da distância ao bordo na direção 1 (sem alteração das dimensões do elemento de betão) para um mesmo número de chumbadouros e os restantes traduzem a influência do número de chumbadouros para a mesma distância ao bordo.

Analizando o Gráfico 6-8, conclui-se que para uma solução que utilize um mesmo número de chumbadouros com distâncias ao bordo diferentes, as capacidades resistentes à rotura por cone de betão, “splitting” e “pry-out” são afetadas. A capacidade resistente ao cone de betão aumenta devido ao valor de c_{max} alterar de 500mm para 425mm, o que provoca uma diminuição ao nível do valor de h'_{ef} . Apesar desta diminuição, existem alterações ao nível das áreas associadas e ao nível a distância mínima ao bordo na direção 2 (275mm para 425 mm). Todas estas alterações conduzem a valores de capacidade resistente superiores.

A capacidade resistente à rotura por “splitting” diminui à medida que a distância ao bordo aumenta.

É também observado um aumento da capacidade resistente à rotura por “pry-out” uma vez que esta depende diretamente do valor da capacidade da rotura por cone de betão.

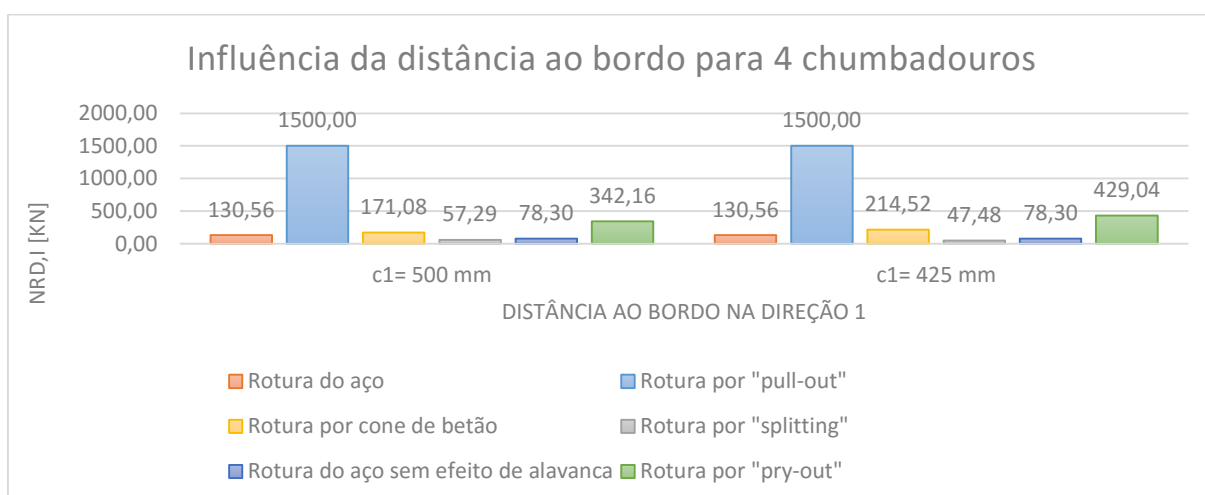


Gráfico 6-8 - Influência da distância ao bordo para um mesmo número de chumbadouros na capacidade resistente da ligação.

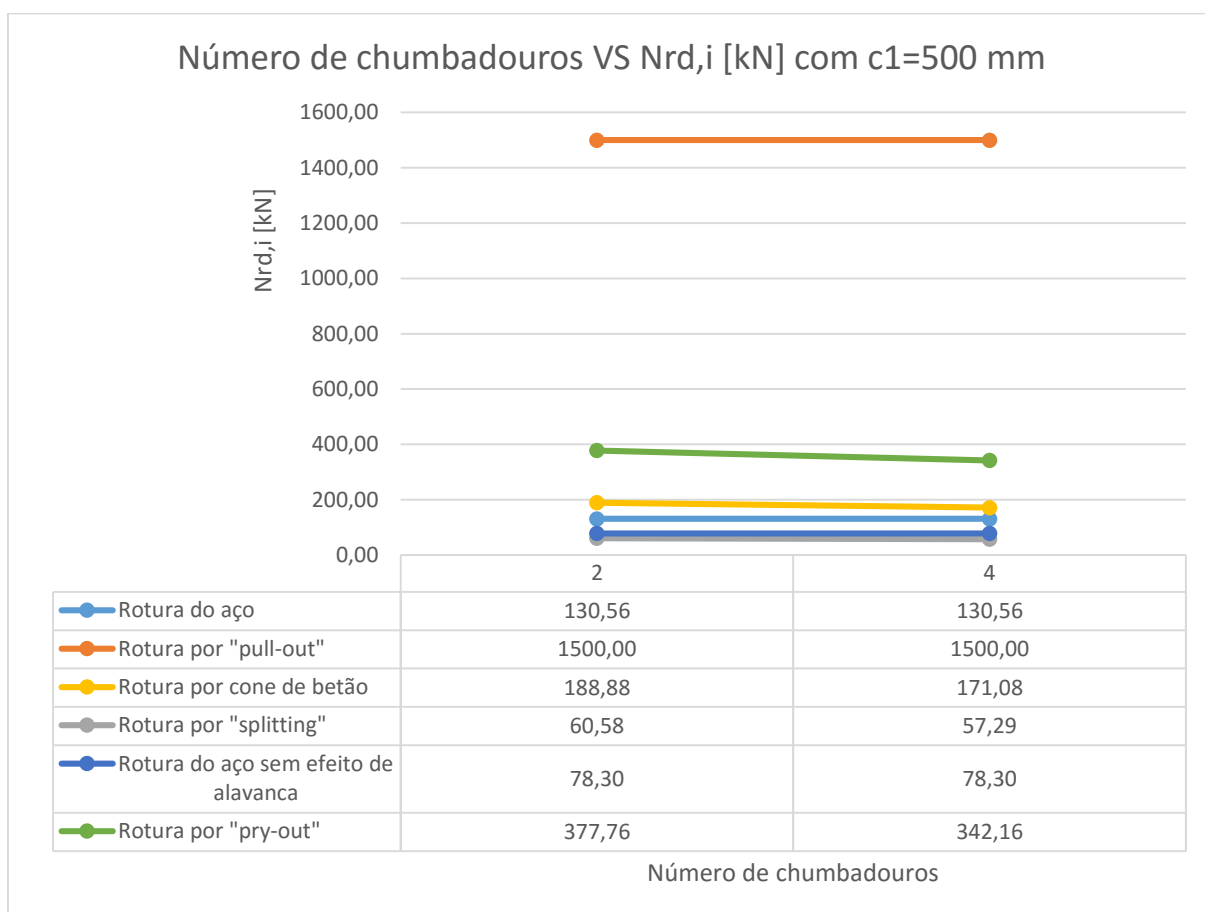


Gráfico 6-9 - Influência do número de chumbadouros para a mesma distância ao bordo (c1=500mm) na capacidade resistente da ligação.

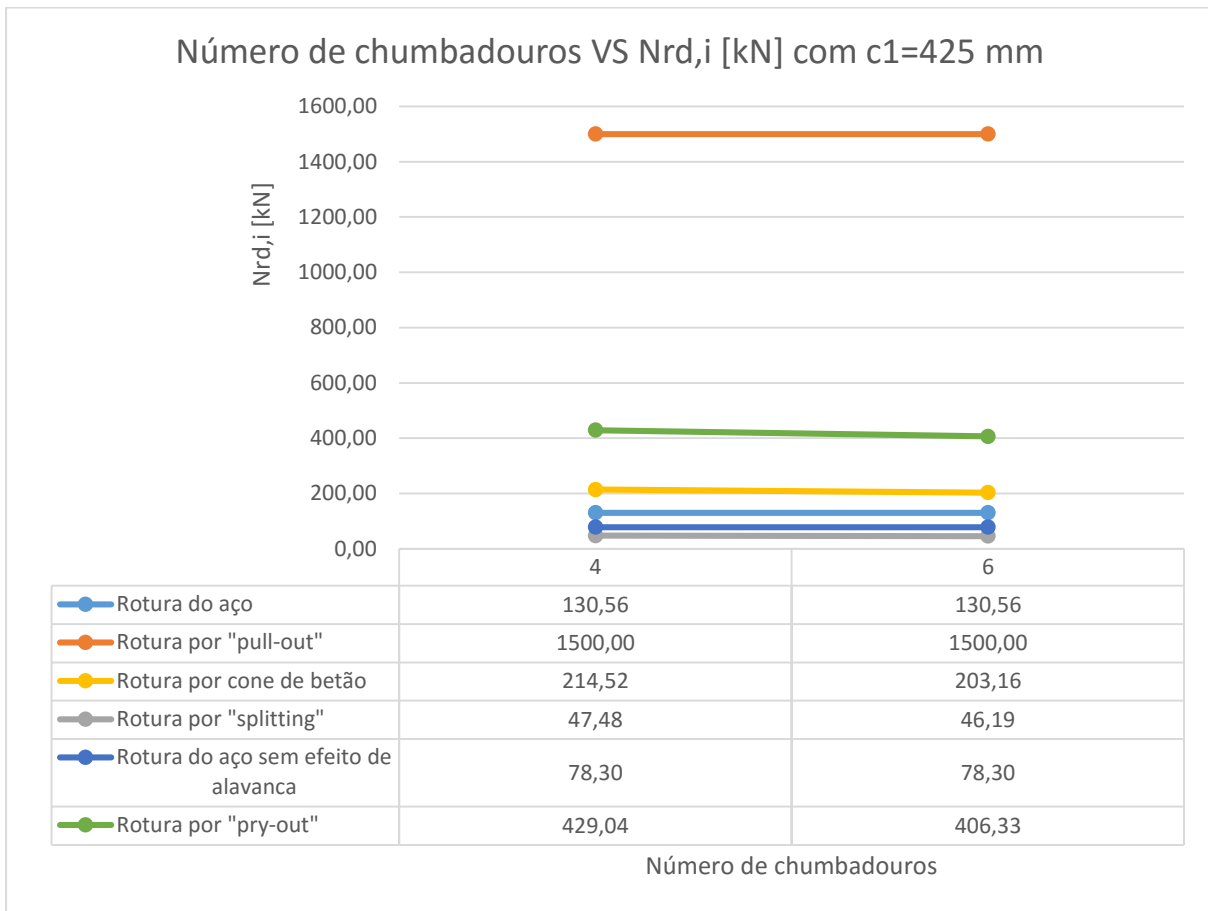


Gráfico 6-10 - Influência do número de chumbadouros para a mesma distância ao bordo ($c_1=425$ mm) na capacidade resistente da ligação.

Analisando o Gráfico 6-9 e o Gráfico 6-10 conclui-se que o aumento do número de chumbadouros para o mesmo valor de distância ao bordo prejudica as capacidades resistentes á rotura por cone de betão, por “splitting” e “pry-out” devido á alteração apenas no valor da distância ao bordo na direção 2. Existe um parâmetro que utiliza o menor valor de distância ao bordo $\Psi_{s,N}$, e que aumentando o número de chumbadouros, diminui a distância ao bordo na direção 2, isso provoca uma diminuição do parâmetro $\Psi_{s,N}$ e consequentemente menor capacidade resistente.

6.4.2.5 Influência da distância ao bordo, c

Este teste tem como objetivo avaliar para um mesmo número de chumbadouros, a influência do aumento da distância ao bordo na direção 1. Para o efeito aumentaram-se as dimensões do elemento de betão. No caso de referência as distâncias ao bordo eram $c_1=500\text{mm}$ e $c_2=425\text{mm}$ enquanto no caso em que as dimensões do elemento de betão foram aumentadas $c_1=1000\text{mm}$ e $c_2=925\text{mm}$.

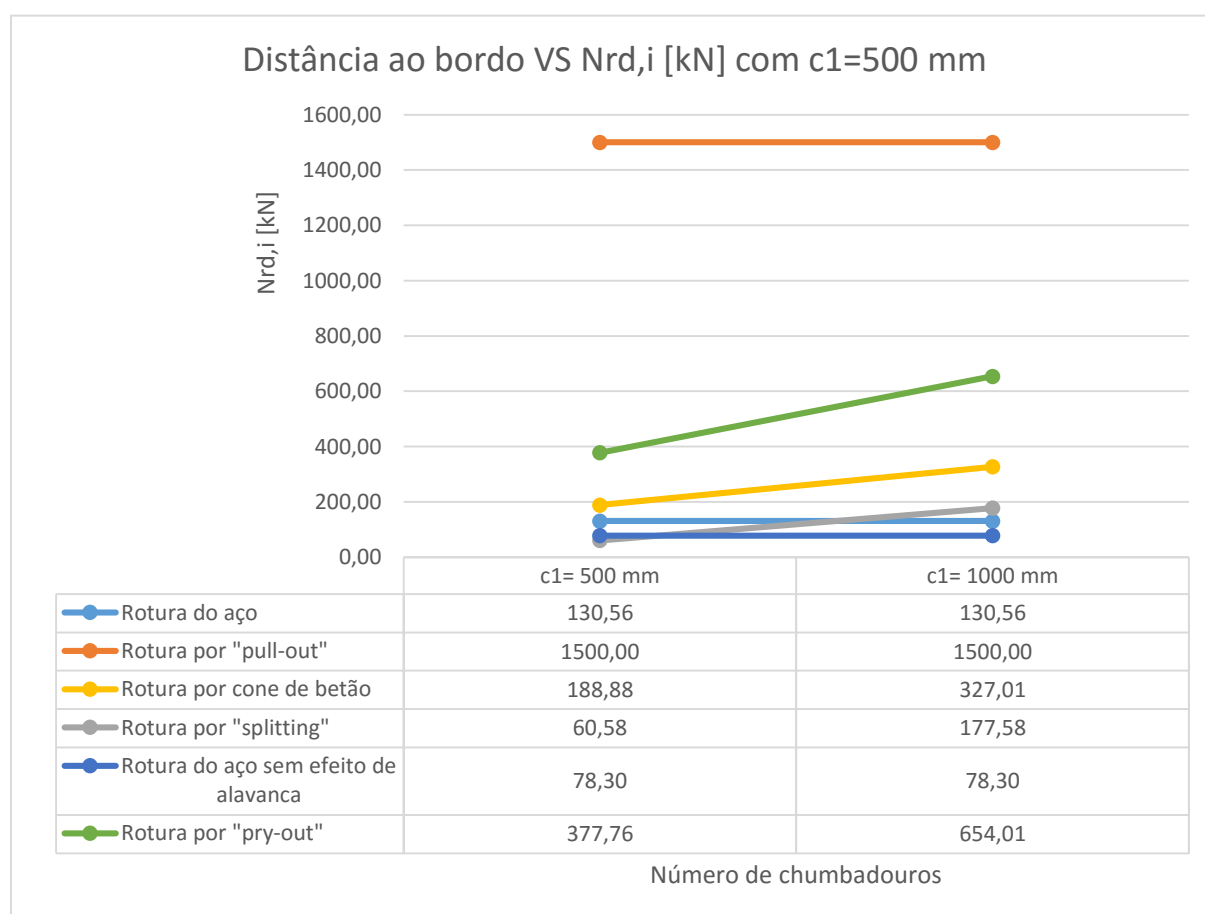


Gráfico 6-11 - Influência do aumento da distância ao bordo na direção 1, na capacidade resistente da ligação.

Tal como esperado, para os modos de rotura por cone de betão, "splitting" e "pry-out" quanto maior for a distância ao bordo, maior será a capacidade resistente. O aumento das dimensões do elemento de betão possibilita gerar maiores áreas associadas a cada fenómeno o que por si aumenta também a capacidade resistente.

6.4.2.6 Influência da existência ou não da placa de resistência

Pretende-se neste ponto avaliar a influência da existência de uma placa de resistência no chumbadouro. A solução de referência apresenta placa de resistência (Figura 6.6) e será realizado um teste para essa mesma solução indicando que apenas existe o chumbadouro.

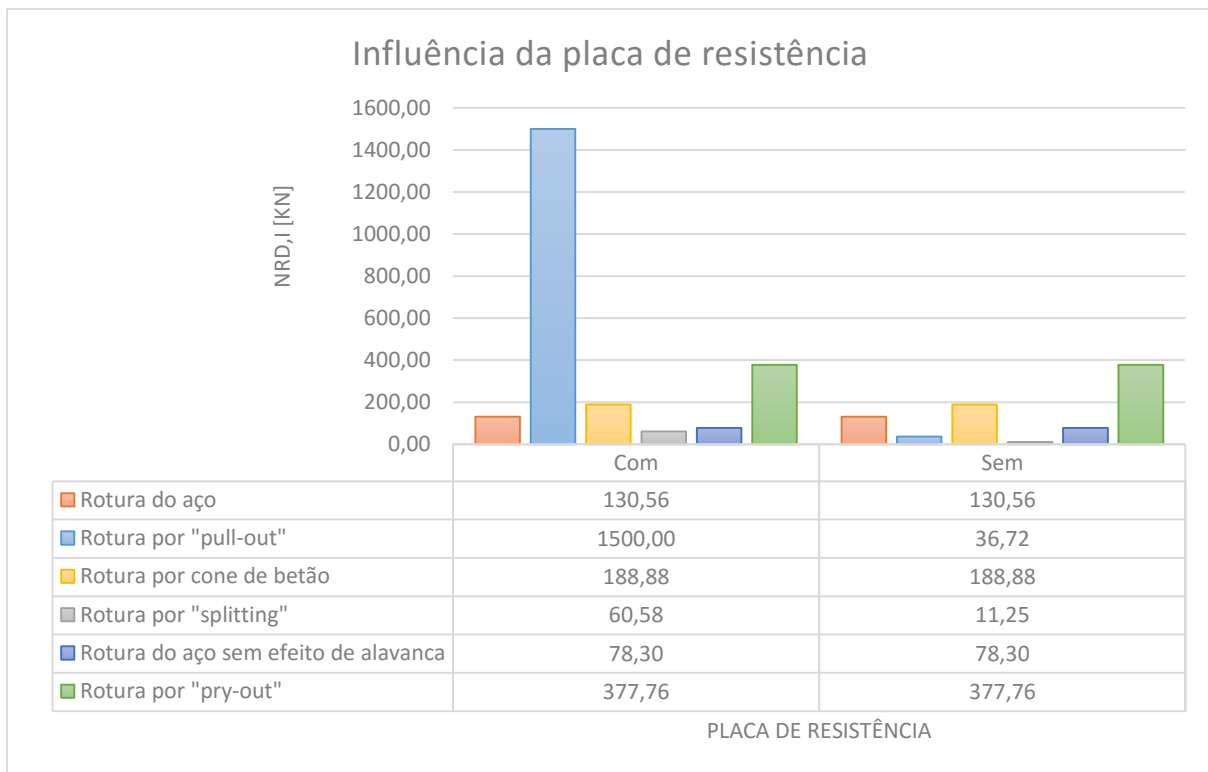


Gráfico 6-12 - Influência da existência de placa de resistência nos chumbadouros.

Conclui-se que a existência de placa de resistência está associada à capacidade resistente da rotura por “pull-out” e por “splitting”. Na verificação da rotura por “pull-out” esta diminuição está associada ao cálculo da área Ah . Na verificação da rotura por “splitting” esta alteração assinala-se na determinação da capacidade $N_{Rk,sp}^0$ que segundo a pré-Norma [2] é o valor mínimo de $N_{Rk,p}$ e $N_{Rk,c}^0$. A não existência de placa conduz a valores de $N_{Rk,p}$ inferiores aos de $N_{Rk,c}^0$, e dessa forma a capacidade resistente diminui.

Conclui-se que a existência de placa de resistência favorece a capacidade resistente de uma ligação aço-betão.

6.4.2.7 Influência do formato da placa de resistência e respectivas dimensões

Após a confirmação de que a existência da placa de resistência contribui para o aumento da capacidade resistente, considerou-se pertinente efetuar testes que indicassem a influência da utilização de uma placa de resistência circular ou quadrada e das respectivas dimensões. Para o efeito recorreram-se às dimensões expostas no Quadro 6.4.

Quadro 6.4 - Dimensões para os diferentes formatos de placa testados.

Características geométricas	Circular – d [mm]			Quadrada – bxl [mm ²]		
	60	80	100	30x30	50x50	100x100
Área [mm ²]	2827,43	5026,55	7853,98	900,00	2500,00	10000,00

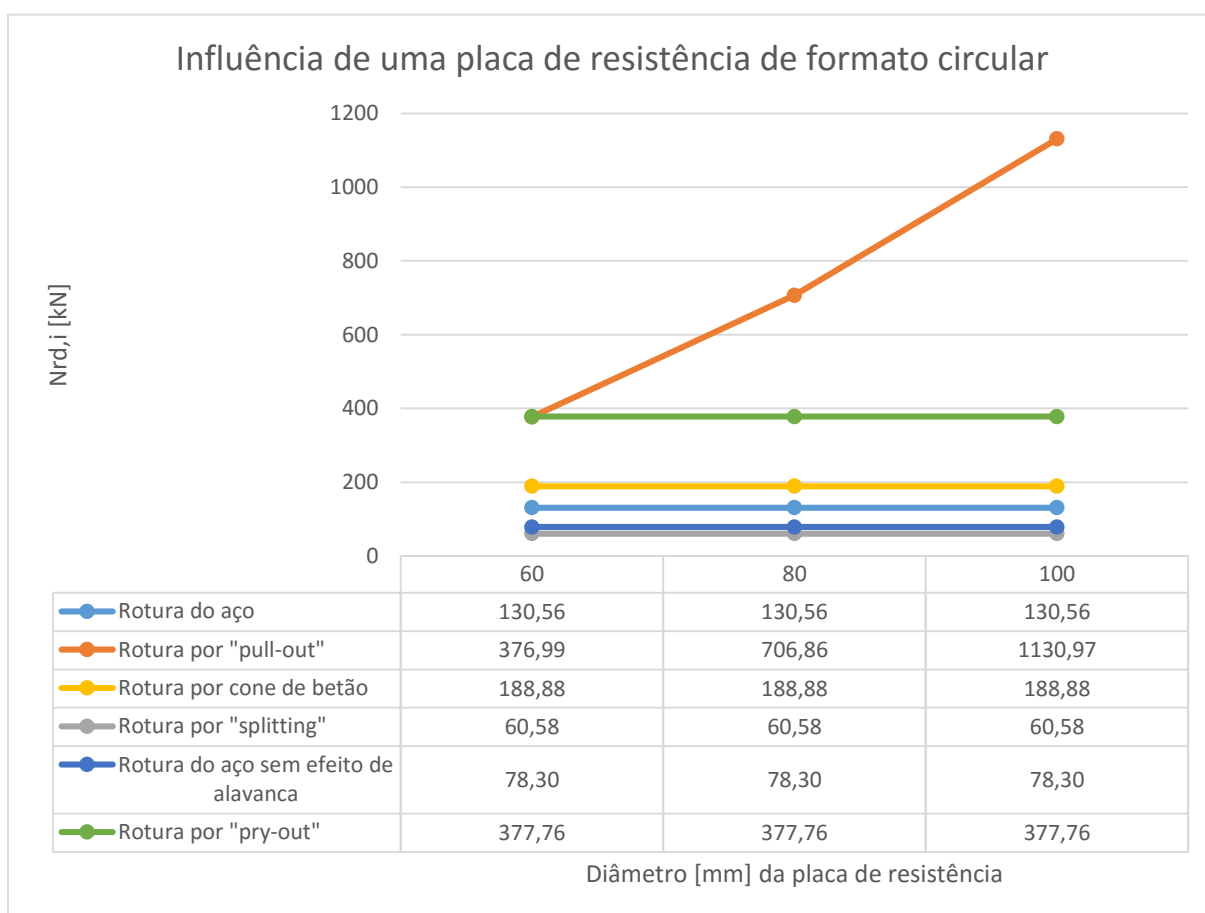


Gráfico 6-13 - Influência da utilização de placas de resistências de formato circular.

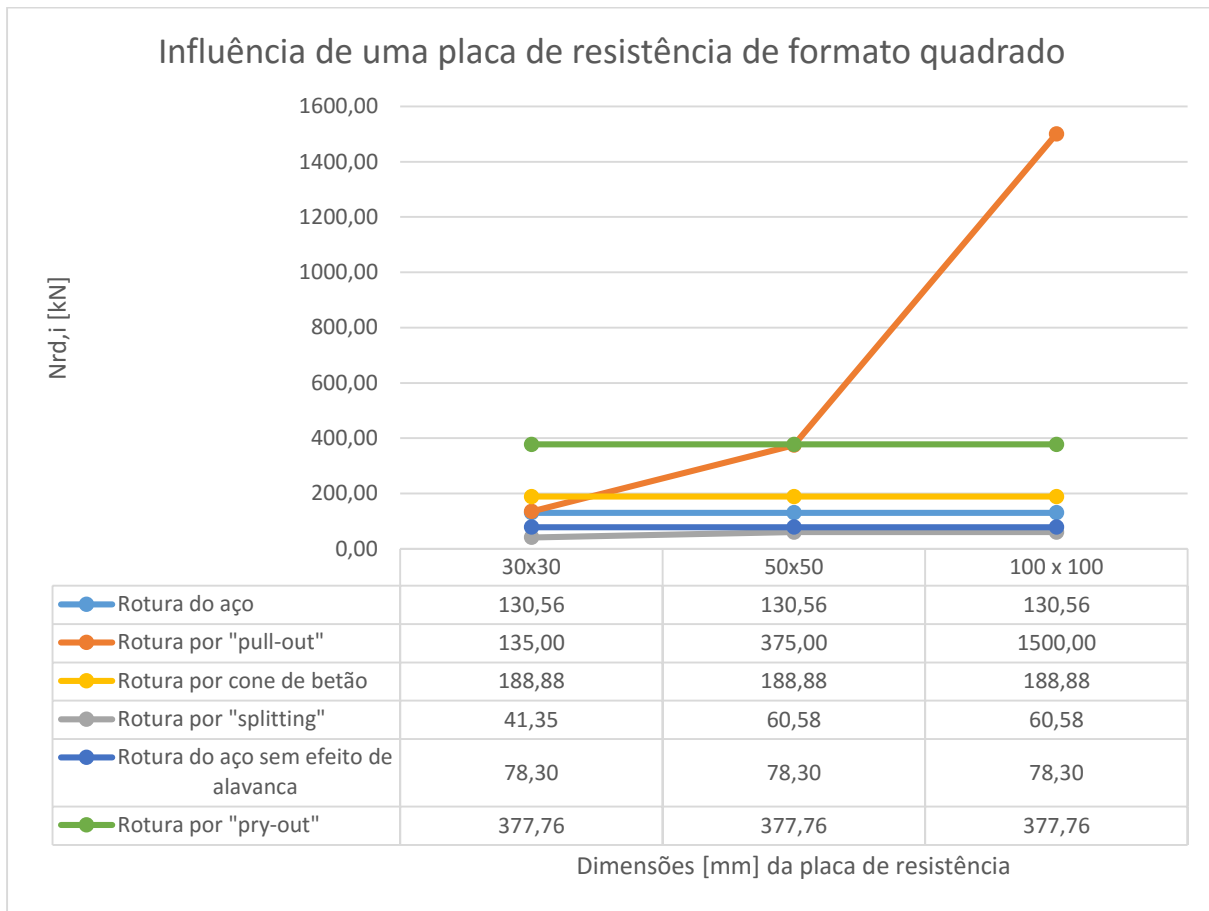


Gráfico 6-14 - Influência da utilização de placas de resistências de formato quadrado.

Através da análise do Gráfico 6-13 e do Gráfico 6-14 conclui-se que as dimensões da placa de resistência interferem na capacidade resistente da rotura por “pull-out” aumentando os seus valores à medida que as dimensões aumentam. Assinala-se uma pequena variação no Gráfico 6-14 na verificação á rotura por “splitting”, devido á razão enunciada no teste paramétrico anterior, isto é, $N_{Rk,p}$ adotou um valor inferior ao de $N_{Rk,c}^0$, sendo que se conclui que para esta dimensão não era verificada a segurança á ocorrência deste fenómeno. Em relação á influência do formato da placa, para a amostra de valores, considera-se que não é possível afirmar qual dos formatos é o mais indicado para aumentar capacidade resistente de uma ligação deste tipo.

6.4.2.8 Conclusões

Apresenta-se de seguida um quadro que permite de forma simplificada identificar quais os parâmetros a alterar e qual a sua influência no dimensionamento da ligação aço-betão em estudo ou de uma ligação com características geométricas semelhantes. O quadro resumo não pode ser aplicado a todos os tipos de ligação, porque os testes paramétricos realizados tiveram sempre por base o mesmo tipo de ligação e a variação ocorria num só parâmetro de cada vez. Na realidade existe uma conjugação infinita no que diz respeito à variação dos parâmetros.

Quadro 6.5 - Quadro-Resumo das conclusões dos testes numéricos aos parâmetros para a ligação do tipo 1.

					MODOS DE ROTURA					
		Requisitos geométricos			Esforço axial				Esforço de corte	
		smin [mm]	cmin [mm]	hmin [mm]	Rotura do aço	Rotura por "pull-out"	Rotura por cone de betão	Rotura por "splitting"	Rotura do aço sem efeito de alavanca	Rotura por "pry-out"
Aumentar valores dos seguintes parâmetros	hef [mm]			↑			↑	↓		↑
	s2 [mm]						↓	↓		↓
	d [mm]	↑	↑	↑	↑			↓	↑	
	n						↓	↓		↓
	c1 [mm]						↑	↑		↑
	Dimensões da placa de resistência					↑				
Sem placa de resistência						↓		↓		

6.5 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE CÁLCULO: “DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES AÇO-BETÃO: CANAIS DE ANCORAGEM”

A aplicação da ferramenta de cálculo para dimensionamento de canais de ancoragem ao caso de estudo como mencionado no subcapítulo 5.4.2, servirá como método de validação da própria ferramenta.

6.5.1 Levantamento dos dados a introduzir na ferramenta de cálculo

O dimensionamento deste tipo de dispositivos tem em conta as dimensões dos painéis envidraçados e respectivas distâncias de posicionamento. Para efeitos de dimensionamento foi adotado o seguinte esquema de montagem.

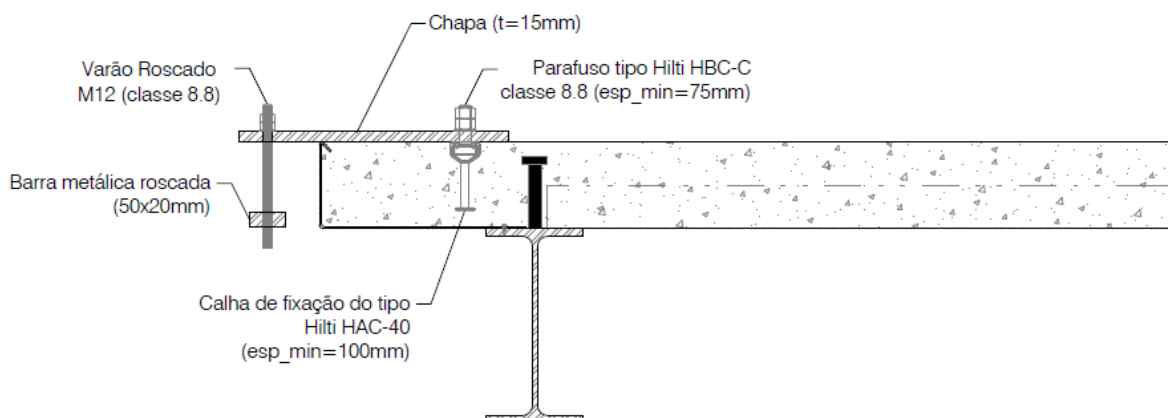


Figura 6.7 - Esquema de montagem dos canais de ancoragem (ligação aço-betão da fachada).

[SE2P]

6.5.2 Determinação dos esforços atuantes

Para os esforços atuantes foi considerada a ação do vento (sendo a situação mais gravosa a de sucção), um envidraçado cuja espessura da lâmina era de 16mm, admitindo ainda uma carga excecional devido ao peso acessório de uma pessoa encostar-se ou pendurar-se sobre o envidraçado.

6.5.3 Solução prevista

A solução foi determinada recorrendo a diversas tentativas que se enquadrassem no projeto e tipo de elementos a ligar.

4.1 Solução prevista

Anchor Channel **HAC-40**

Propriedades de cálculo

Special Screw **HBC-C & 8.8**
 classe **8.8**
 Diâmetro Special Screw **M12**

bch [mm]	40.9
hch [mm]	28
d1 [mm]	7.19
d2[mm]	13.5
Ah [mm2]	114
l [mm]	66

smax [mm]	250
smin [mm]	100

min hef [mm]	91
cmin [mm]	50
delta h [mm]	3
cnom [mm]	20
hmin [mm]	114

≥10 mm

hlaje [mm] **120**

Verificação **Solução Apta**

Esforços característicos (retirados ETA-11/0006)

Esforço Axial	Nrk,s,a [kN]	33
	Nrk,s,c [kN]	25
	Nrk,s,l [kN]	25

Corte	Mrk,s,flex [Nm]	1013	2.47
	Nrk,s,s [kN]	67.4	
	Nrk,p [kN]	25.441	
	Nrk ⁰ ,c [kN]	40.53	
	Nrk,sp [kN]		
	Nrk,cb [kN]		
	Vrk,s [kN]	33.7	
	Vrk,s,l [kN]	35	
	Vrk, cp [kN]		
	Vrk,c [kN]		

Figura 6.8 - Solução prevista e parâmetros de cálculo associados.

Após a determinação da solução são recolhidos os esforços característicos previstos na ETA-11/0006 [23] que permitem efetuar as verificações.

6.5.4 Resultados

Tendo em conta que a aplicação da ferramenta de cálculo foi bastante limitada devido á quantidade de informação disponível na altura da sua utilização, conclui-se que para os esforços atuantes é verificada a segurança da solução proposta.

QUADRO RESUMO - VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA - CANAIS DE ANCORAGEM

Nome do Projeto	0
N.º da ligação	0
Tipo de ligação	0

Verificação ao esforço axial				Ned [kN]	rácio	VERIFICAÇÃO
Steel Failure	Anchor	Nrd,s,a [kN]	18.33	2.63	0.143	OK
	Connection between anchor and channel	Nrd,s,c [kN]	13.89	2.63	0.189	OK

	Local flexure of channel lip	Nrd,s,l [kN]	13.89	2.63	0.189	OK
	Special screw	Nrd,s [kN]	44.93	2.63	0.058	OK
	Flexure of channel	Mrd,flex [kN.m]	880.87	2.63	0.003	OK
Concrete Failure	Pull-out	Nrd,p [kN]	16.87	2.63	0.156	OK
	Concrete cone	Nrd,c [kN]	16.54	2.63	0.159	OK
	Splitting	Nrd,sp [kN]	10.69	2.63	0.246	OK
	Blow-out	Nrd,cb [kN]	#VALOR!	2.63	#VALOR!	#VALOR!
Verificação ao corte				Ved [kN]	rácio	VERIFICAÇÃO
Steel Failure	Without lever arm - special screw	Vrd,s [kN]	26.96	19.06	0.707	OK
	Without lever arm - local flexure of channel lip	Vrd,s,i [kN]	19.44	19.06	0.980	OK
	With lever arm - special screw	Vrd,s [kN]	0.00	19.06	#DIV/0!	KO
Concrete Failure	Pry-out	Vrd,cp [kN]	33.08	19.06	0.576	OK
	Concrete edge	Vrd,c [kN]	33.51	19.06	0.569	OK

Verificação à combinação de esforços			VERIFICAÇÃO
Steel Failure	0.997	1	OK
Other modes of failure	0.822	1.2	OK
	0.559	1	OK

Figura 6.9 – Transcrição do quadro resumo da ferramenta de cálculo de dimensionamento de canais de ancoragem.

7 CONCLUSÕES

7.1 CONCLUSÕES FINAIS

No que diz respeito à nota histórica, verificou-se uma enorme dificuldade em reunir informações relacionadas com a evolução das ligações estruturais na construção civil, nomeadamente as ligações aço-betão. Apesar de ter sido elaborada uma pesquisa bibliográfica exaustiva, não foi possível indicar informação mais detalhada do que a apresentada no subcapítulo 2.1.

No capítulo 5 foram selecionados três tipos de soluções de ligações aço-betão dimensionadas em projetos já concluídos. As diferenças entre as soluções consistiram no tipo de dispositivo de ancoragem utilizado, tendo servido de base a três métodos de validação para a ferramenta de cálculo desenvolvida para o dimensionamento de ligações com chumbadouros, buchas químicas e buchas mecânicas.

Através das comparações entre os resultados obtidos na ferramenta de cálculo e nos relatórios da Hilti para buchas químicas e mecânicas, conclui-se que, tal como esperado, são determinados valores de capacidades resistente bastante aproximados. A semelhança existente entre os métodos de dimensionamento previstos nas diretrizes técnicas [13] e [14] e a pré-Norma [2], refletem-se na determinação dessas mesmas capacidades.

Por outro lado, os resultados obtidos através da ferramenta de cálculo e do “*software*” ROBOT apresentam discrepâncias significativas. Embora o ROBOT utilize uma base técnica com expressões de cálculo similares às da pré-Norma [2], tal não se reflete nos resultados. Dessa forma não foi possível retirar conclusões acertadas sobre a semelhança e/ou diferença de resultados.

Por fim no capítulo 6, além de se aplicarem ambas as ferramentas de cálculo a dois tipos de ligação não correntes e submetidos a esforços particulares, realizaram-se testes paramétricos a um dos tipos de ligação, determinando dessa forma a influência de diversos parâmetros. Foi verificada a segurança em ambas as soluções estudadas, sendo que o facto de não se puderem estudar na íntegra os três tipos de ligação de base aço-betão do caso de estudo revela que o documento [2] poderia ser mais desenvolvido no que diz respeito ao tipo de soluções e disposições previstas.

7.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No que diz respeito a futuros desenvolvimentos relacionados com as ferramentas de cálculo, existe um conjunto de procedimentos que seria importante abordar com maior pormenor.

Ao nível da ferramenta de cálculo para chumbadouros, buchas químicas e mecânicas seria importante automatizar o processo de introdução dos dados, isto é, proceder a uma transcrição detalhada dos dados de uma ligação diretamente do programa de cálculo estrutural assim como a otimização dos códigos de VBA utilizados na programação das folhas. Outro desenvolvimento importante seria programar efetivamente a distribuição dos esforços por métodos analíticos, sendo que a estratégia abordada passaria por estabelecer grupos de diferentes tipos de ligação, onde seriam desenvolvidos raciocínios de cálculo para cada um dos grupos de forma a automatizar os procedimentos para a distribuição dos esforços. Seria também interessante criar uma macro que permitisse identificar quais as folhas que foram consultadas e extrair dessas mesmas folhas os quadros-resumo, incorporando-os a todos numa só folha. As folhas respetivas ao dimensionamento de soluções para a fadiga, ação sísmica e ação do fogo necessitam de um estudo mais aprofundado a nível dos valores a inserir para chumbadouros, uma vez que para as buchas químicas e mecânicas existem as ETA e para os chumbadouros não.

No que diz respeito à ferramenta de cálculo para canais de ancoragem, seria necessário desenvolver a folha para um nível de detalhe semelhante ao da primeira ferramenta, abordando assim questões como a condição do betão (fendilhado), as verificações à fadiga, à ação sísmica e à ação do fogo.

Quanto ao processo de determinação das áreas seria interessante evoluir esse processo para a utilização de “*software*” como o REVIT que permitisse assinalar as áreas em ligações já modeladas, possibilitando assim ao utilizador ter uma maior perceção do fenómeno de rotura a verificar. Seria também interessante efetuar um estudo aprofundado aos relatórios do ROBOT para tentar perceber a ocorrência dos erros apresentados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Costa, A. – Sebenta da unidade curricular de Estruturas de Madeira e Alvenaria, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2015.
- [2] DRAFT prEN1992-4. Eurocode 2: Design of concretes structures- Part 4:Design of fastening for use in concrete, CEN-CENELEC, Setembro 2013.
- [3] FUCHS, Werner – Evolution of fastenings design methods in Europe. In ELIGEHAUSEN, Rolf et al. – Connections between Steel and Concrete [Em linha]. 1ª edição. France: RILEM Publications, 2001. [Consultado 24 Fev. 2015]. Disponível na WWW:<<https://books.google.pt/books?id=jaKesdh4BEC&pg=PR7&lpg=PR7&dq=rolf+eligehausen+%2B+werner+fuchs&source=bl&ots=0EEYNScHMg&sig=oBcdoSIh-DFtetdLfV47MkYu2sE&hl=ptPT&sa=X&ei=tpMSVZuAEseyUYTcgugK&ved=0CDcQ6AEwAw#v=onepage&q=rolf%20eligehausen%20%2B%20werner%20fuchs&f=false>>.
- [4] ELIGEHAUSEN, Rolf et al. – Anchorage to Concrete. Stuttgart. Volume I(4):392-403. (1998)
- [5] JORDAHL® Connection Technology. Anchor Channel Application.
- [6] NP EN1992-1-1. Eurocódigo 2: Projeto de estruturas de betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, CEN, Março de 2010. Pág. 148-150
- [7] ELIGEHAUSEN, Rolf et al. – Fastening Technique: Current status and future trends. In ELIGEHAUSEN, Rolf et al. – Connections between Steel and Concrete [Em linha]. 1ª edição. France: RILEM Publications, 2001. [Consultado 24 Fev. 2015]. Disponível na WWW:<<https://books.google.pt/books?id=jaKesdh4BEC&pg=PR7&lpg=PR7&dq=rolf+eligehausen+%2B+werner+fuchs&source=bl&ots=0EEYNScHMg&sig=oBcdoSIh-DFtetdLfV47MkYu2sE&hl=ptPT&sa=X&ei=tpMSVZuAEseyUYTcgugK&ved=0CDcQ6AEwAw#v=onepage&q=rolf%20eligehausen%20%2B%20werner%20fuchs&f=false>>.

- [8] ABECASIS, Tiago. Ligações de peças metálicas ao betão com buchas: conceção e pormenorização. SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE LIGAÇÕES ESTRUTURAIS (SILE 08). 2008
- [9] Anchor Fastening Technology Manual. 09/2014. HILTI
- [10] ELIGEHAUSEN, Rolf; MALLÉE, Rainer; F.SILVA, John - Anchorage in Concrete Construction. 2006. ISBN 978-3-433-01143-0.
- [11] MARTINS, Joel Donizete – Resistência à tração de chumbadores com placa de ancoragem instalados em concreto. Brasília, 2006. Tese de mestrado.
- [12] Bulletin 58. Design of anchorages in concrete. Fédération internationale du béton (*fib*).2011
- [13] ETAG 001. 1997 – Guideline for European Technical Approval of metal anchors for use in concrete. Annex C: DESIGN METHODS FOR ANCHORAGES. 3RD Amendment August 2010.
- [14] EOTA TR09. Technical Report. Design of Bonded Anchors. Amended September 2010.
- [15] NP EN1990. Eurocódigo: Bases para o projeto de estruturas, CEN, Dezembro de 2009.
- [16] DRAFT FOR DEVELOPMENT. DD CEN/TS 1992-4-1:2009. Design of fastenings for use in concrete. Part 4-1:General. CEN, Maio 2009.
- [17] NP EN1998-1:2010. Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios, CEN, Julho de 2009. Pág.52
- [18] CEB-FIP Model Code 1990. Design Code. Comité Euro-International du Béton. 1991 ISBN 0-7277-1696-4
- [19] NP EN1993-1-8:2010. Eurocódigo : Projeto de estruturas de aço – Parte 1-8: Projeto de ligações, CEN, Julho de 2009.
- [20] CEB Design Guide. Design of fastenings in concrete. 1997
- [21] EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL ETA-98/0001. Hilti stud anchor HST, HST-R and HST-HCR. DIBt, May 2013.

- [22] EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL ETA 04/0027. Injection system Hilti HIT-RE 500. DIBt, June 2013.
- [23] EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL ETA-11/0006. Hilti Anchor Channel – HAC with special screw - BBBC. DIBt, February 2013.
- [24] NP EN206-1:2007. Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade.
- [25] ACI 355.1R-91.State-of-the-art report on anchorage to concrete. July 1991.
- [26] BELLEI, Ildony Hélio. Interfaces aço-concreto. Instituto Brasileiro de Siderurgia. Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro 2006.
- [27] Bulletin 46. Fire design of concrete structures – structural behaviour and assessment. Fédération internationale du béton (fib).2008
- [28] FREITAS, Mota. Sebenta da unidade curricular ...
- [29] KUHLMANN, Ulrike et al. Design of steel-to-concrete joints. Design Manual I. Prague, Stuttgart, Coimbra and Brussels. February 2014. ISBN 978-92-9147-119-5.
- [30] LELLO, José. Sebenta da unidade curricular de Pré-Fabricação e Ligações Estruturais. Instituto superior de Engenharia do Porto. 2015
- [31] SILVA, Luís Simões da SANTIAGO, Aldina – Manual de Ligações Metálicas. 1ª edição. Coimbra: CMM, 2003. ISBN 972-98376-4-3.
- [32] ELIGEHAUSEN, Rolf. Behavior, Design and Testing of Anchors in Cracked Concrete. SP 130-5.
- [33] VALENTE, Isabel B.; SILVA, Luís Simões da; HENRIQUES, José. Caracterização d comportamento de ligações aço-betão. IX CONGRESSO DE CONSTRUÇÃO METÁLICA & I CONGRESSO LUS-BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO METÁLICA SUSTENTÁVEL. Matosinhos, 2013.
- [34] WOLLMERSHAUSER, Richard E. Types of Anchors for Anchoring to Concrete.

ANEXO I

(Método I - Ligação com chumbadouros)



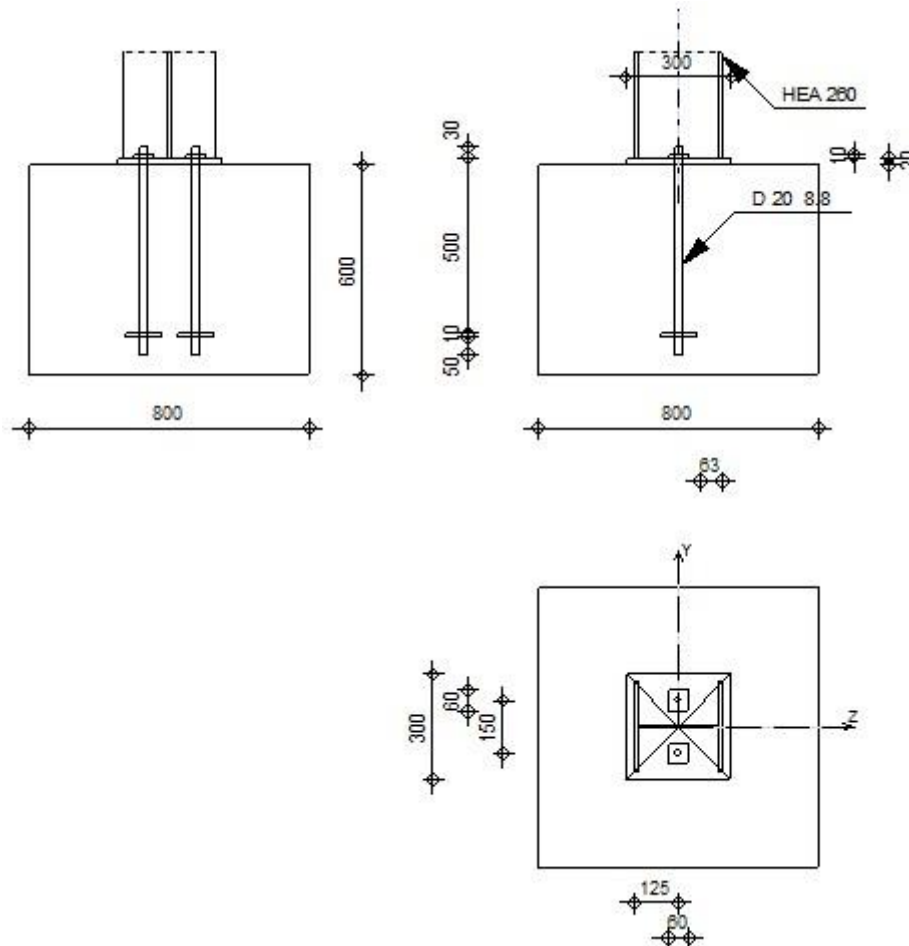
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2016

Pinned column base design

Eurocode 3: EN 1993-1-8:2005/AC:2009 + CEB Design
Guide: Design of fastenings in concrete



Ratio
0,89



GENERAL

Connection no.: 6
Connection name: Pinned column base
Structure node: 76
Structure bars: 80

GEOMETRY

COLUMN

Section: HEA 260

Bar no.: 80

L_c	9,75	[m]	Column length
α	0,0	[Deg]	Inclination angle
h_c	250	[mm]	Height of column section
b_{fc}	260	[mm]	Width of column section
t_{wc}	8	[mm]	Thickness of the web of column section
t_{fc}	13	[mm]	Thickness of the flange of column section

$L_c = 9,75$ [m] Column length
 $r_c = 24$ [mm] Radius of column section fillet
 $A_c = 86,82$ [cm²] Cross-sectional area of a column
 $I_{yc} = 10455,00$ [cm⁴] Moment of inertia of the column section
 Material: S 275
 $f_{yc} = 275,00$ [MPa] Resistance
 $f_{uc} = 430,00$ [MPa] Yield strength of a material

COLUMN BASE

$l_{pd} = 300$ [mm] Length
 $b_{pd} = 300$ [mm] Width
 $t_{pd} = 20$ [mm] Thickness
 Material: S 275
 $f_{ypd} = 275,00$ [MPa] Resistance
 $f_{upd} = 430,00$ [MPa] Yield strength of a material

ANCHORAGE

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Class = 8.8 Anchor class
 $f_{yb} = 640,00$ [MPa] Yield strength of the anchor material
 $f_{ub} = 800,00$ [MPa] Tensile strength of the anchor material
 $d = 20$ [mm] Bolt diameter
 $A_s = 2,45$ [cm²] Effective section area of a bolt
 $A_v = 3,14$ [cm²] Area of bolt section
 $n = 2$ Number of bolt rows
 $e_v = 150$ [mm] Vertical spacing

Anchor dimensions

$L_1 = 30$ [mm]
 $L_2 = 500$ [mm]
 $L_3 = 50$ [mm]

Anchor plate

$d = 100$ [mm] Diameter
 $t_p = 10$ [mm] Thickness
 Material: S 275
 $f_y = 275,00$ [MPa] Resistance

Washer

$l_{wd} = 60$ [mm] Length
 $b_{wd} = 60$ [mm] Width
 $t_{wd} = 10$ [mm] Thickness

MATERIAL FACTORS

$\gamma_{M0} = 1,00$ Partial safety factor
 $\gamma_{M2} = 1,25$ Partial safety factor
 $\gamma_c = 1,50$ Partial safety factor

SPREAD FOOTING

$L = 800$ [mm] Spread footing length
 $B = 800$ [mm] Spread footing width
 $H = 600$ [mm] Spread footing height

Concrete

Class C20/25
 $f_{ck} = 20,00$ [MPa] Characteristic resistance for compression

Grout layer

$t_g = 0$ [mm] Thickness of leveling layer (grout)
 $f_{ck,g} = 12,00$ [MPa] Characteristic resistance for compression
 $C_{f,d} = 0,30$ Coeff. of friction between the base plate and concrete

WELDS

$a_p = 5$ [mm] Footing plate of the column base

LOADS

Case: Manual calculations.

$N_{j,Ed} = 89,55$ [kN] Axial force
 $V_{j,Ed,z} = -77,58$ [kN] Shear force

RESULTS

TENSION ZONE

STEEL FAILURE

$A_b = 2,45$ [cm²] Effective anchor area [Table 3.4]
 $f_{ub} = 800,00$ [MPa] Tensile strength of the anchor material [Table 3.4]
Beta = 0,85 Reduction factor of anchor resistance [3.6.1.(3)]
 $F_{t,Rd,s1} = \text{beta} \cdot 0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_b / \gamma_{M2}$
 $F_{t,Rd,s1} = 119,95$ [kN] Anchor resistance to steel failure [Table 3.4]

 $\gamma_{Ms} = 1,20$ Partial safety factor CEB [3.2.3.2]
 $f_{yb} = 640,00$ [MPa] Yield strength of the anchor material CEB [9.2.2]
 $F_{t,Rd,s2} = f_{yb} \cdot A_b / \gamma_{Ms}$
 $F_{t,Rd,s2} = 130,67$ [kN] Anchor resistance to steel failure CEB [9.2.2]

 $F_{t,Rd,s} = \min(F_{t,Rd,s1}, F_{t,Rd,s2})$
 $F_{t,Rd,s} = 119,95$ [kN] Anchor resistance to steel failure

PULL-OUT FAILURE

$f_{ck} = 20,00$ [MPa] Characteristic compressive strength of concrete EN 1992-1:[3.1.2]
 $A_h = 75,40$ [cm²] Bearing area of the head CEB [15.1.2.3]
 $p_k = 140,00$ [MPa] Characteristic strength of concrete (pull-out) CEB [15.1.2.3]
 $\gamma_{Mp} = 2,16$ Partial safety factor CEB [3.2.3.1]
 $F_{t,Rd,p} = p_k \cdot A_h / \gamma_{Mp}$
 $F_{t,Rd,p} = 261,80$ [kN] Design uplift capacity CEB [9.2.3]

CONCRETE CONE FAILURE

$h_{ef} = 225$ [mm] Effective anchorage depth CEB [9.2.4]
 $N_{Rk,c}^0 = 7.5 [N^{0.5}/mm^{0.5}] \cdot f_{ck} \cdot h_{ef}^{1.5}$
 $N_{Rk,c}^0 = 113,20$ [kN] Characteristic resistance of an anchor CEB [9.2.4]
 $s_{cr,N} = 675$ [mm] Critical width of the concrete cone CEB [9.2.4]
 $c_{cr,N} = 338$ [mm] Critical edge distance CEB [9.2.4]
 $A_{c,N0} = 6600,00$ [cm²] Maximum area of concrete cone CEB [9.2.4]

$N_{Rk,c}^0 = 113,20$	[kN]	Characteristic resistance of an anchor	CEB [9.2.4]
$A_{c,N} = 6400,00$	[cm ²]	Actual area of concrete cone	CEB [9.2.4]
$\psi_{A,N} = A_{c,N}/A_{c,N0}$			
$\psi_{A,N} = 0,97$		Factor related to anchor spacing and edge distance	CEB [9.2.4]
$c = 325$	[mm]	Minimum edge distance from an anchor	CEB [9.2.4]
$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot c/c_{cr,N} \leq 1.0$			
$\psi_{s,N} = 0,99$		Factor taking account the influence of edges of the concrete member on the distribution of stresses in the concrete	
$\psi_{ec,N} = 1,00$ Factor related to distribution of tensile forces acting on anchors			
$\psi_{re,N} = 0.5 + h_{ef}[mm]/200 \leq 1.0$			
$\psi_{re,N} = 1,00$		Shell spalling factor	CEB [9.2.4]
$\psi_{ucr,N} = 1,00$		Factor taking into account whether the anchorage is in cracked or non-cracked concrete	CEB [9.2.4]
$\gamma_{Mc} = 2,16$		Partial safety factor	CEB [3.2.3.1]
$F_{t,Rd,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \psi_{A,N} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ucr,N} / \gamma_{Mc}$			
$F_{t,Rd,c} = 50,26$	[kN]	Design anchor resistance to concrete cone failure	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]

SPLITTING FAILURE

$h_{ef} = 500$	[mm]	Effective anchorage depth	CEB [9.2.5]
$N_{Rk,c}^0 = 7.5[N^{0.5}/mm^{0.5}] \cdot f_{ck} \cdot h_{ef}^{1.5}$			
$N_{Rk,c}^0 = 375,00$	[kN]	Design uplift capacity	CEB [9.2.5]
$s_{cr,N} = 1000$	[mm]	Critical width of the concrete cone	CEB [9.2.5]
$c_{cr,N} = 500$	[mm]	Critical edge distance	CEB [9.2.5]
$A_{c,N0} = 12937,50$	[cm ²]	Maximum area of concrete cone	CEB [9.2.5]
$A_{c,N} = 6400,00$	[cm ²]	Actual area of concrete cone	CEB [9.2.5]
$\psi_{A,N} = A_{c,N}/A_{c,N0}$			
$\psi_{A,N} = 0,49$		Factor related to anchor spacing and edge distance	CEB [9.2.5]
$c = 325$	[mm]	Minimum edge distance from an anchor	CEB [9.2.5]
$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot c/c_{cr,N} \leq 1.0$			
$\psi_{s,N} = 0,90$		Factor taking account the influence of edges of the concrete member on the distribution of stresses in the concrete	
$\psi_{ec,N} = 1,00$ Factor related to distribution of tensile forces acting on anchors			
$\psi_{re,N} = 0.5 + h_{ef}[mm]/200 \leq 1.0$			
$\psi_{re,N} = 1,00$		Shell spalling factor	CEB [9.2.5]
$\psi_{ucr,N} = 1,00$		Factor taking into account whether the anchorage is in cracked or non-cracked concrete	CEB [9.2.5]
$\psi_{h,N} = (h/(2 \cdot h_{ef}))^{2/3} \leq 1.2$			
$\psi_{h,N} = 0,71$		Coeff. related to the foundation height	CEB [9.2.5]
$\gamma_{M,sp} = 2,16$		Partial safety factor	CEB [3.2.3.1]
$F_{t,Rd,sp} = N_{Rk,c}^0 \cdot \psi_{A,N} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ucr,N} \cdot \psi_{h,N} / \gamma_{M,sp}$			
$F_{t,Rd,sp} = 54,68$	[kN]	Design anchor resistance to splitting of concrete	CEB [9.2.5]

TENSILE RESISTANCE OF AN ANCHOR

$F_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd,s}, F_{t,Rd,p}, F_{t,Rd,c}, F_{t,Rd,sp})$	
$F_{t,Rd} = 50,26$	[kN] Tensile resistance of an anchor

BENDING OF THE BASE PLATE

$l_{eff,1} = 331$	[mm]	Effective length for a single bolt for mode 1	[6.2.6.5]
$l_{eff,2} = 331$	[mm]	Effective length for a single bolt for mode 2	[6.2.6.5]
$m = 66$	[mm]	Distance of a bolt from the stiffening edge	[6.2.6.5]
$M_{pl,1,Rd} = 9,11$	[kN*m]	Plastic resistance of a plate for mode 1	[6.2.4]
$M_{pl,2,Rd} = 9,11$	[kN*m]	Plastic resistance of a plate for mode 2	[6.2.4]
$F_{T,1,Rd} = 555,29$	[kN]	Resistance of a plate for mode 1	[6.2.4]
$F_{T,2,Rd} = 183,15$	[kN]	Resistance of a plate for mode 2	[6.2.4]
$F_{T,3,Rd} = 100,51$	[kN]	Resistance of a plate for mode 3	[6.2.4]
$F_{t,pl,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$			
$F_{t,pl,Rd} = 100,51$	[kN]	Tension resistance of a plate	[6.2.4]

TENSILE RESISTANCE OF A COLUMN WEB

$t_{wc} = 8$	[mm]	Effective thickness of the column web	[6.2.6.3.(8)]
$b_{eff,t,wc} = 331$	[mm]	Effective width of the web for tension	[6.2.6.3.(2)]

$t_{wc} =$	8	[mm]	Effective thickness of the column web	[6.2.6.3.(8)]
$A_{vc} =$	28,76	[cm ²]	Shear area	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega =$	0,71		Reduction factor for interaction with shear	[6.2.6.3.(4)]
$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{yc} / \gamma_{M0}$				
$F_{t,wc,Rd} =$	486,63	[kN]	Column web resistance	[6.2.6.3.(1)]

RESISTANCES OF SPREAD FOOTING IN THE TENSION ZONE

$N_{j,Rd} =$	100,51	[kN]	Resistance of a spread footing for axial tension	[6.2.8.3]
--------------	--------	------	--	-----------

CONNECTION CAPACITY CHECK

$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ (6.24)	0,89 < 1,00	verified	(0,89)
---------------------------------------	-------------	----------	--------

SHEAR

BEARING PRESSURE OF AN ANCHOR BOLT ONTO THE BASE PLATE

Shear force $V_{j,Ed,z}$

$\alpha_{d,z} = 2,27$	Coeff. taking account of the bolt position - in the direction of shear	[Table 3.4]
$\alpha_{b,z} = 1,00$	Coeff. for resistance calculation $F_{1,vb,Rd}$	[Table 3.4]
$k_{1,z} = 2,50$	Coeff. taking account of the bolt position - perpendicularly to the direction of shear	[Table 3.4]
$F_{1,vb,Rd,z} = k_{1,z} \cdot \alpha_{b,z} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$		
$F_{1,vb,Rd,z} = 344,00$	[kN] Resistance of an anchor bolt for bearing pressure onto the base plate	[6.2.2.(7)]

SHEAR OF AN ANCHOR BOLT

$\alpha_b =$	0,25	Coeff. for resistance calculation $F_{2,vb,Rd}$	[6.2.2.(7)]
$A_{vb} =$	3,14 [cm ²]	Area of bolt section	[6.2.2.(7)]
$f_{ub} =$	800,00 [MPa]	Tensile strength of the anchor material	[6.2.2.(7)]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Partial safety factor	[6.2.2.(7)]
$F_{2,vb,Rd} = \alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_{vb} / \gamma_{M2}$			
$F_{2,vb,Rd} =$	49,86 [kN]	Shear resistance of a bolt - without lever arm	[6.2.2.(7)]

CONCRETE PRY-OUT FAILURE

$N_{Rk,c} =$	108,55	[kN]	Design uplift capacity	CEB [9.2.4]
$k_3 =$	2,00		Factor related to the anchor length	CEB [9.3.3]
$\gamma_{Mc} =$	2,16		Partial safety factor	CEB [3.2.3.1]
$F_{v,Rd,cp} = k_3 \cdot N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$				
$F_{v,Rd,cp} =$	100,51	[kN]	Concrete resistance for pry-out failure	CEB [9.3.1]

CONCRETE EDGE FAILURE

Shear force $V_{j,Ed,z}$

$V_{Rk,c,z}^0 = 448,32$ [kN] Characteristic resistance of an anchor				
$\psi_{A,V,z} =$	0,64	Factor related to anchor spacing and edge distance		
$\psi_{h,V,z} =$	1,00	Factor related to the foundation thickness		
$\psi_{s,V,z} =$	0,89	Factor related to the influence of edges parallel to the shear load direction		
$\psi_{ec,V,z} =$	1,00	Factor taking account a group effect when different shear loads are acting on the individual anchors in a group		
$\psi_{\alpha,V,z} =$	1,00	Factor related to the angle at which the shear load is applied		
$\psi_{ucr,V,z} =$	1,00	Factor related to the type of edge reinforcement used		
$\gamma_{Mc} =$	2,16	Partial safety factor		
$F_{v,Rd,c,z} = V_{Rk,c,z}^0 \cdot \psi_{A,V,z} \cdot \psi_{h,V,z} \cdot \psi_{s,V,z} \cdot \psi_{ec,V,z} \cdot \psi_{\alpha,V,z} \cdot \psi_{ucr,V,z} / \gamma_{Mc}$				
$F_{v,Rd,c,z} =$	118,93	[kN]	Concrete resistance for edge failure	CEB [9.3.1]

SPLITTING RESISTANCE

$C_{f,d} =$	0,30	Coeff. of friction between the base plate and concrete	[6.2.2.(6)]
$N_{c,Ed} =$	0,00	[kN] Compressive force	[6.2.2.(6)]

$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{c,Ed}$
 $F_{f,Rd} = 0,00 \quad [kN] \quad \text{Slip resistance}$

[6.2.2.(6)]

SHEAR CHECK

$V_{j,Rd,z} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,z}) + F_{f,Rd}$
 $V_{j,Rd,z} = 99,73 \quad [kN] \quad \text{Connection resistance for shear}$

CEB [9.3.1]

$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$
 $0,78 < 1,00$

verified

(0,78)

WELDS BETWEEN THE COLUMN AND THE BASE PLATE

$\sigma_{\perp} = 8,59 \quad [MPa] \quad \text{Normal stress in a weld}$

[4.5.3.(7)]

$\tau_{\perp} = 8,59 \quad [MPa] \quad \text{Perpendicular tangent stress}$

[4.5.3.(7)]

$\tau_{yII} = 0,00 \quad [MPa] \quad \text{Tangent stress parallel to } V_{j,Ed,y}$

[4.5.3.(7)]

$\tau_{zII} = -34,48 \quad [MPa] \quad \text{Tangent stress parallel to } V_{j,Ed,z}$

[4.5.3.(7)]

$\beta_W = 0,85 \quad \text{Resistance-dependent coefficient}$

[4.5.3.(7)]

$\sigma_{\perp} / (0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}) \leq 1.0 \quad (4.1)$
 $0,03 < 1,00$

verified

(0,03)

$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{yII}^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 \quad (4.1)$
 $0,04 < 1,00$

verified

(0,04)

$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{zII}^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 \quad (4.1)$
 $0,15 < 1,00$

verified

(0,15)

WEAKEST COMPONENT:

FOUNDATION - CONCRETE CONE PULL-OUT FAILURE

Connection conforms to the code	Ratio	0,89
---------------------------------	-------	------

1 DADOS DA LIGAÇÃO AÇO-BETÃO

1.1. IDENTIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO

Nome do Projeto	Método I_Ligação com chumbadouros
N.º ligação	6
Tipo de ligação	Rotulada
Nó estrutural	76
Barra estrutural	80

1.2. GEOMETRIA DA LIGAÇÃO

1.2.1 PILAR

Altura [m]	9.75
Ângulo de inclinação [grau]	0
Secção	HEA 260
Altura [m]	250
Largura [mm]	260
Espessura da alma [mm]	7.5
Espessura dos banzos [mm]	12.5
Material	S 275
fyc [MPa]	275
fuc [MPa]	460

1.2.2. BASE DE PILAR - CHAPA METÁLICA

Comprimento [mm]	300
Largura[mm]	300
Espessura [mm]	20
Material	S 275
fypd [MPa]	275
fupd [MPa]	460

1.2.3. DISPOSITIVO DE ANCORAGEM

Número de ancoragens 2

Classe 8,8
 fyb [MPa] 640
 fub [MPa] 800

Diâmetro [mm] 20

Área efetiva da secção do parafuso [mm²] 244.80

N.º linhas parafusos (nv) 2

N.º colunas parafusos (nh) 1

espaçamento horizontal (eh) 0

espaçamento vertical (ev) 150

1.2.3.1 Dimensões do dispositivo de ancoragem

L1 [mm] 30
 L2 [mm] 500
 L3 [mm] 50
 L4 [mm]

1.2.3.2 Dimensões da placa de resistência

Formato Redonda

Diâmetro [mm] 100
 Comprimento [mm]
 Largura [mm]
 Espessura [mm] 10

Se a placa for redonda, será apresentado o diâmetro senão serão apresentados o comprimentos e largura!

Material S 275
 fypd [MPa] 275
 fupd [MPa] 460

1.2.3.3 Dimensões da arruela

Comprimento [mm] 60
 Largura [mm] 60
 Espessura [mm] 10

1.2.4. CUTELO/ RIGIDIFICADOR

Comprimento [mm]
 Largura [mm]
 Espessura [mm]

d1
d2

1.2.5. FUNDAÇÃO

Tipo Centrada

Comprimento [mm] 800
 Largura[mm] 800
 Altura [mm] 600

Classe C20/25

1.3 VALIDAÇÃO DA GEOMETRIA E DISPOSIÇÃO DAS ANCORAGENS

Table 18-1: Minimum values for spacing, edge distance and member thickness for non-prestressed headed anchors

Minimum spacing	$s_{min} = 5d \geq 50 \text{ mm}$
Minimum edge distance	$c_{min} = 3d \geq 50 \text{ mm}$
Minimum member thickness ^{a)}	$h_{min} = h_{ef} + t_h + c_{\phi}$

^{a)} t_h = thickness of anchor head

c_{ϕ} = required concrete cover for reinforcement in conformance with CEB-FIP Model Code 1990 (CEB, 1993)

Apesar dos valores descritos no fib, foi realizada uma adaptação aos valores apresentados no EC2, uma vez que a prEN1992-4 é uma extensão desse mesmo EC.

d [mm] 20
 h [mm] 600
 hef [mm] 500
 c1 [mm] 400
 c2 [mm] 325
 s1 [mm] 0
 s2 [mm] 150
 dh[mm] 20
 c [mm] 25

smin [mm] 100 OK!
 cmin [mm] 60 OK!
 hmin [mm] 545 OK!

3 VERIFICAÇÃO AO ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ROTURA)

3.1 Verificação ao esforço axial para chumbadouros (sem armadura)

3.1.1 Rotura do aço

As [mm ²]	244.80	Área de secção transversal da ancoragem	
fuk [N/mm ²]	800	Tensão de rotura à tracção característica	artº 3.1.1.- NP EN 1993-1-8:2010
Nrk,s [kN]	195.84	Resistência característica associada à rotura do aço	artº 7.2.1.3- prEN 1992-4:2013
γMs	1.5	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
Ned [kN]	44.78	Chumbadouro mais carregado	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013
Nrd,s [kN]	130.56	OK	

3.1.2 Rotura por "pull-out"

Betão	Fendilhado	Condição do betão	artº 4.6 - prEN 1992-4:2013
k1	7.5	Parâmetro com valor definido	artº 7.2.1.4 - prEN 1992-4:2013
Ah [mm ²]	7539.82	Área carregada da "cabeça" da ancoragem	artº 7.2.1.4 (7.2) - prEN 1992-4:2013
fck [MPa]	20	Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias de idade	Quadro 3.1 - NP EN 1992-1-1:2010
Nrk,p [kN]	1130.97	Resistência característica associada ao fenómeno de "pull-out"	artº 7.2.1.4 (7.1) - prEN 1992-4:2013

γ_{Mp}	1.50	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
Ned [kN]	44.78		
Nrd,p [kN]	753.98	OK	Chumbadouro mais carregado Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013

3.1.4 Rotura por cone de betão

Verificar se existem 3 ou mais bordos com as respetivas distâncias inferiores a ccr,N.

Verificar se existem 3 ou mais bordos com as respetivas distâncias inferiores a ccr,N.

scr,N [mm]	1500	Espaçamento entre ancoragens	artº 7.2.1.5 (7.5) - prEN 1992-4:2013
ccr,N [mm]	750		
c1 [mm]	400	Existem dois bordos a esta distância, assumindo que a ligação é simétrica nas duas direções.	
c2 [mm]	325		
cmáx [mm]	400	Usar h'ef	
hef[mm]	500		
h'ef [mm]	266.67	São utilizados no caso de existirem 3 ou mais bordos com distâncias inferiores a ccr,N.	
s'cr,N [mm]	800		
c'cr,N	400		

k9 8.9

Parâmetro com valor definido

artº 7.2.1.6 - prEN 1992-4:2013

fck [MPa]	20	Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias de idade	Quadro 3.1 - NP EN 1992-1-1:2010
hef [mm]	500	Profundidade de embebimento	
Nrk0,c [kN]	173.32	Resistência característica de uma ancoragem individual colocada em betão	artº 7.2.1.6 (7.14) - prEN 1992-4:2013
Ac0,N [mm²]	640000	Área de referência projetada	artº 7.2.1.6 (7.15) - prEN 1992-4:2013
Ac,N [mm²]	520000	Área real projetada	artº 7.2.1.6 - prEN 1992-4:2013
c [mm]	325	Menor distância ao bordo	
ψs,N	0.94375	Fator que considera as perturbações associadas à distribuição das tensões devido à proximidade do bordo do elemento de betão	artº 7.2.1.6 (7.16) - prEN 1992-4:2013
ψre,N	1	Fator que considera o efeito da densidade do reforço na zona onde a ancoragem é instalada	artº 7.2.1.5 (7.11) - prEN 1992-4:2013

eN	0	Excentricidade da resultante dos esforços das ancoragens em relação ao centro de gravidade dessas mesmas ancoragens	
$\psi_{ec,N}$	1	Fator que considera o efeito do grupo quando diferentes esforços estão aplicados nas ancoragens individuais	artº 7.2.1.6 (7.17) - prEN 1992-4:2013
$\psi_{M,N}$	1	Fator que considera o efeito de uma força de compressão entre a placa de base e o betão	artº 7.2.1.6 (7.18) - prEN 1992-4:2013
Nrk,c [kN]	132.90	Resistência característica no caso de existência do fenómeno de "pull-out"	artº 7.2.1.6 (7.13) - prEN 1992-4:2013
γ_{Mc}	1.50		Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
Ned [kN]	89.55		
Nrd,c[kN]	88.60 KO	Grupo de chumbadouros	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013

3.1.5 Rotura por "splitting"

Verificar se é necessário proceder à verificação da existência do fenómeno de "splitting"!				
1	c [mm]	325	KO	KO
	ccr,sp[mm]	1000		
	hmin [mm]	545	OK	
2	wk [mm]	0.4	KO	

Não é necessário verificar caso uma das condições seja cumprida

Nrk0,sp [kN]	173.32		artº 7.2.1.7 - prEN 1992-4:2013
Ac,N [mm²]	640000	Área de referência projetada	artº 7.2.1.7 (7.15) - prEN 1992-4:2013
Ac,0,N [mm²]	4000000	Área real projetada	artº 7.2.1.7 (7.15) - prEN 1992-4:2013
ccr,sp [mm]	1000	Distância ao bordo	
scr,sp[mm]	2000	Espaçamento	
ψs,N	0.80	Fator que considera as perturbações associadas à distribuição das tensões devido à proximidade do bordo do elemento de betão	artº 7.2.1.6 (7.16) - prEN 1992-4:2013
ψre,N	1	Fator que considera o efeito da densidade do reforço na zona onde a ancoragem é instalada	artº 7.2.1.6 (7.11) - prEN 1992-4:2013
eN	0	Excentricidade da resultante dos esforços das ancoragens em relação ao centro de gravidade dessas mesmas ancoragens	
ψec,N	1	Fator que considera o efeito do grupo quando diferentes esforços estão aplicados nas ancoragens individuais	artº 7.2.1.6 (7.17) - prEN 1992-4:2013
c1 [mm]	400	Distância ao bordo na direção 1	
c2 [mm]	325	Distância ao bordo na direção 2	

$\psi_{h,sp}$	1.07	Fator que considera a influência da espessura do elemento de betão na resistência ao fenómeno de "splitting"	artº 7.2.1.7 (7.24) - prEN 1992-4:2013
$N_{rk,sp}$ [kN]	23.58	Resistência característica de uma ancoragem ou grupo de ancoragens associado ao fenómeno de "splitting"	artº 7.2.1.7 (7.23) - prEN 1992-4:2013
γ_{Msp}	1.50	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
N_{ed} [kN]	89.55	Grupo de chumbadouros	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013
$N_{rd,sp}$ [kN]	15.72 KO		

3.1.6 Rotura por "Blow-Out"

É necessário verificar ao fenómeno de blow-out?

c [mm] 325
hef[mm] 500 OK

Para grupos de ancoragens, perpendiculares ao bordo, carregados uniformemente, a verificação apenas é requerida para as ancoragens perto do bordo.

k_4	8.7	Parâmetro com valor definido	artº 7.2.1.8 - prEN 1992-4:2013
c_1 [mm]	400	Distância ao bordo na direção 1	
c_2 [mm]	325	Distância ao bordo na direção 2	
A_h [mm ²]	7539.82	Área carregada da "cabeça" da ancoragem	artº 7.2.1.4 (7.2) - prEN 1992-4:2013

fck [MPa]	20	Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias de idade	Quadro 3.1 - NP EN 1992-1-1:2010
Nrk0,cb [kN]	1351.37	Resistência característica de uma ancoragem individual não influenciada por ancoragens adjacentes ou componentes estruturais dos bordos	artº 7.2.1.8 (7.26) - prEN 1992-4:2013
Ac,Nb [mm²]		Área de referência projetada	artº 7.2.1.8 (7.27) - prEN 1992-4:2013
Ac,0,Nb [mm²]	2560000	Área real projetada	artº 7.2.1.8 (7.27) - prEN 1992-4:2013
ψs,Nb	0.821875	Fator que considera as perturbações associadas à distribuição das tensões	artº 7.2.1.8 (7.28) - prEN 1992-4:2013
s1 [mm]	0	Espaçamento entre ancoragens na direção 1	
ψg,Nb	1.41	Fator que considera o efeito do grupo de um determinando número de ancoragens "n" numa linha paralela ao bordo	artº 7.2.1.8 (7.29) - prEN 1992-4:2013
eN		Excentricidade da resultante dos esforços das ancoragens em relação ao centro de gravidade dessas mesmas ancoragens	
ψec,Nb	1	Fator que considera o efeito do grupo quando diferentes esforços estão aplicados nas ancoragens individuais	artº 7.2.1.8 (7.30) - prEN 1992-4:2013

Nrk,cb [kN]	0.000	Resistência característica de uma ancoragem ou grupo de ancoragens ao fenómeno de "blow-out"	artº 7.2.1.8 (7.25) - prEN 1992-4:2013
γ_{Mc}	1.50		
Ned [kN]	89.55	Grupo de chumbadouros	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013
Nrd,cb [kN]	0.00 KO		

II. Quadro Resumo

	Modo de rotura	Ned [kN]	Nrd [kN]	Rácio
ASA - C	Rotura do aço	44.78	130.56	0.343
	Rotura por "pull-out"	44.78	753.98	0.059
	Rotura por cone de betão	89.55	88.60	1.000
	Rotura por "splitting"	89.55	15.72	1.000
	Rotura por "blow-out"	N/A	N/A	N/A

3 VERIFICAÇÃO AO ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ROTURA)

3.2 Verificação ao esforço de corte sem armadura (sem efeito de alavanca)

3.2.1 Rotura do aço sem efeito de alavanca

k50	0.5
As [mm ²]	244.80
fuk [N/mm ²]	800

Vrk,s [kN] 97.92

artº 7.2.2.3.1
(7.33)- prEN
1992-4:2013

tg [mm] 30

k51 1

Vrk,s,m [kN] 97.88

Resistência característica
associada à rotura do aço

artº 7.2.2.3.1 -
prEN 1992-
4:2013

γMs 1.25

Fator parcial de segurança

Tabela 4.1-
prEN 1992-
4:2013

Ved [kN] 38.79

Vrd,s [kN] 78.30 OK

Ancoragem mais
carregada

Tabela 7.1-
prEN 1992-
4:2013

3.2.3 Rotura do betão pelo bordo na direção 1

Verificação da condição imposta em 7.2.2.5 (11)

c1,max [mm]	400
c1,max ≤ 1.5c1	OK
h ≤ 1.5c1	OK
c'1 [mm]	400

Betão Fendilhado

Condição do betão

artº 4.6 - prEN
1992-4:2013

k5	1.7
dnom [mm]	20
lf [mm]	240
fck [Mpa]	20
c1 [mm]	400
alfa	0.077
beta	0.055

Parâmetro com valor definido

artº 7.2.2.5 - prEN 1992-4:2013

Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias de idade

Quadro 3.1 - NP EN 1992-1-1:2010

Vrk0,c [N] **103650.54**

artº 7.2.2.5 (7.40) - prEN 1992-4:2013

Ac,V [mm²] **480000**

Área de referência projetada

artº 7.2.2.5 - prEN 1992-4:2013

Ac,0,v [mm²] **720000**

Área real projetada

artº 7.2.2.5 - prEN 1992-4:2013

ψs,V **0.8625**

Fator que considera as perturbações associadas à distribuição das tensões devido à proximidade do bordo do elemento de betão

artº 7.2.2.5 (7.44) - prEN 1992-4:2013

ψh,V **1**

Fator que considera o facto de a resistência de bordo não decrescer proporcionalmente

artº 7.2.2.5 (7.45) - prEN 1992-4:2013

eN	0	Excentricidade da resultante dos esforços das ancoragens em relação ao centro de gravidade dessas mesmas ancoragens	
$\psi_{ec,V}$	1	Fator que considera o efeito do grupo quando diferentes esforços estão aplicados nas ancoragens individuais	artº 7.2.2.5 (7.46) - prEN 1992-4:2013
alfa v		Varia entre 0 e 90º	
$\psi_{alfa,V}$	1.00	Fator que considera o ângulo entre o esforço de corte aplicado e a direção perpendicular ao bordo livre	artº 7.2.2.5 (7.47) - prEN 1992-4:2013
$\psi_{re,V}$	1	Fator que considera o efeito da armadura localizada no bordo	artº 7.2.2.5 (7.46) - prEN 1992-4:2013
Vrk,c [kN]	59.60	Resistência característica associada à roturado betão pelo bordo	artº 7.2.2.3.2 (7.36)- prEN 1992-4:2013
γ_{Mc}	1.5	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
Ved [kN]	77.58		
Vrd,c [kN]	39.73	Grupo de ancoragens	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013

KO

3.2.3 Rotura do betão pelo bordo na direção 2

Verificação da condição imposta em 7.2.2.5 (11)

c2,max [mm]	325
c2,max ≤ 1.5c2	OK
h ≤ 1.5c2	KO
c'1 [mm]	400

Betão Fendilhado

Condição do betão artº 4.6 - prEN 1992-4:2013

k5 1.7

Parâmetro com valor definido artº 7.2.2.5 - prEN 1992-4:2013

dnom [mm] 20

lf [mm] 240

fck [Mpa] 20

Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias Quadro 3.1 - NP EN 1992-1-1:2010

c2 [mm] 400

alfa 0.077

beta 0.055

Vrk0,c [N] 65918.10

artº 7.2.2.5 (7.40) - prEN 1992-4:2013

Ac,V [mm²] 480000

Área de referência projetada artº 7.2.2.5 - prEN 1992-4:2013

Ac,0,v [mm²] 720000

Área real projetada artº 7.2.2.5 - prEN 1992-4:2013

ψs,V 0.8625

Fator que considera as perturbações associadas à distribuição das tensões devido à proximidade do artº 7.2.2.5 (7.44) - prEN 1992-4:2013

ψh,V 1

Fator que considera o facto de a resistência de bordo não decrescer proporcionalmente artº 7.2.2.5 (7.45) - prEN 1992-4:2013

eN 0

ψec,V 1

Excentricidade da resultante dos esforços Fator que considera o efeito do grupo quando diferentes esforços estão aplicados nas ancoragens artº 7.2.2.5 (7.46) - prEN 1992-4:2013

alfa v

ψalfa,V 1.55

Varia entre 0 e 90º Fator que considera o ângulo entre o esforço de corte aplicado e a direção perpendicular ao bordo artº 7.2.2.5 (7.47) - prEN 1992-4:2013

$\psi_{re,V}$	1	Fator que considera o efeito da armadura localizada no bordo	artº 7.2.2.5 (7.46) - prEN 1992-4:2013
$V_{rk,c}$ [kN]	58.68	Resistência característica associada à roturado betão pelo bordo	artº 7.2.2.3.2 (7.36)- prEN 1992-4:2013
γ_{Mc}	1.5	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
V_{ed} [kN]	77.58		
$V_{rd,c}$ [kN]	39.12	Grupo de ancoragens	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013

3.2.4 Rotura por "Pry-Out"

hef [mm]	500		
k_3	2	definido	
$N_{rk,c}$ [kN]	132.90	Ir às verificações nas folhas para cada tipo de dispositivo e recalculer $N_{rk,c}$ tendo em conta as novas áreas!	
$V_{rk,cp}$ [kN]	265.81	Resistência característica associada à rotura por pry-out	artº 7.2.2.4 (7.38)- prEN 1992-4:2013
γ_{Ms}	1.5	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
V_{ed} [kN]	77.58		
$V_{rd,cp}$ [kN]	177.21	Grupo de ancoragens	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013

III Quadro Resumo

	Modo de rotura	V_{ed} [kN]	V_{rd} [kN]	Rácio
CSA -sEA	Rotura do aço sem efeito de alavanca	38.79	78.30	0.495
	Rotura do betão pelo bordo na direção 1	77.58	39.73	1.000
	Rotura do betão pelo bordo na direção 2	77.58	39.12	1.000
	Rotura por "pry-out"	77.58	177.21	0.438

ANEXO II

(Método II - Ligação com buchas
mecânicas)

Empresa:
Projectista:
Endereço:
Telefone | Fax:
E-mail:

Página:
Projecto:
Sub Projecto | Pos. N.º:
Data:

1
30/10/2015

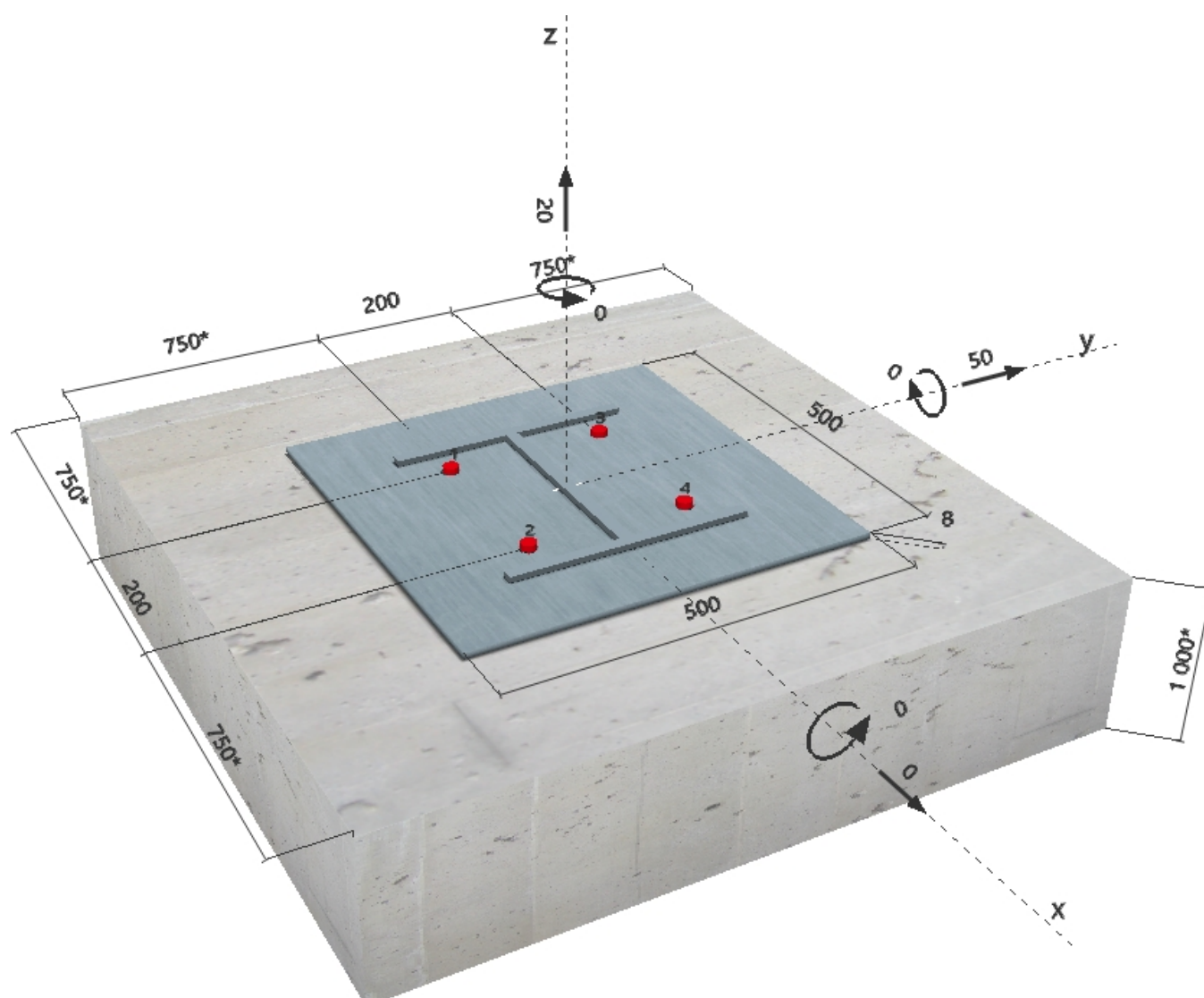
Comentários do projectista:

1 Dados de Cálculo



Tipo e dimensão da ancoragem:	HST M20
Prof. efectiva de ancoragem:	$h_{ef} = 101 \text{ mm}$, $h_{nom} = 117 \text{ mm}$
Material:	
Homologação N.º:	ETA 98/0001
Publicados Válidos:	08/05/2013 20/02/2018
Verificação:	método de cálculo ETAG N.º. 001 Anexo C (2010)
Afastamento da chapa:	$e_b = 0 \text{ mm}$ (sem afastamento da chapa); $t = 8 \text{ mm}$
Chapa de fixação:	$l_x \times l_y \times t = 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$; (Espessura da chapa recomendada: não calculado)
Perfil:	IPBi/HEA; $(L \times W \times T \times FT) = 310 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 16 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$
Material Base:	Betão fendilhado betão , C20/25, $f_{cc} = 25,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 1000 \text{ mm}$
Armadura:	Sem armadura ou com armadura com espaçamento $\geq 150 \text{ mm}$ (qq \emptyset) or $\geq 100 \text{ mm}$ ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$) sem armadura de bordo longitudinal

Geometria [mm] & Carga [kN, kNm]



Empresa:
Projectista:
Endereço:
Telefone I Fax:
E-mail:

Página: 2
Projecto:
Sub Projecto I Pos. N.º:
Data: 30/10/2015

2 Combinação de Carga/Resultantes

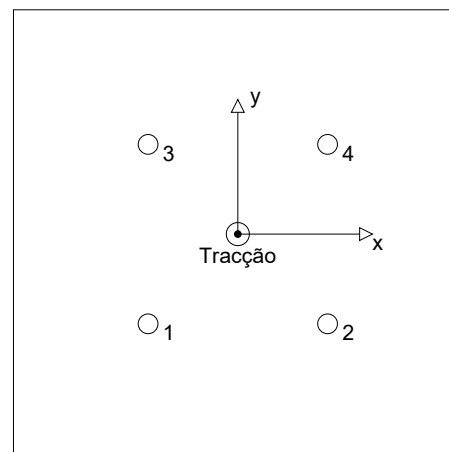
Combinação de Carga: Cargas majoradas

Reacções nas ancoragens [kN]

Tracção: (+Tracção;-Compressão)

Ancoragem	Tracção	Carga de corte	Corte em x	Corte em y
1	5,000	12,500	0,000	12,500
2	5,000	12,500	0,000	12,500
3	5,000	12,500	0,000	12,500
4	5,000	12,500	0,000	12,500

Extensão máxima à compressão da alvenaria: - [%]
Resistência máxima à compressão da alvenaria: - [N/mm²]
Tracção resultante em (x/y)=(0/0): 20,000 [kN]
Compressão resultante em (x/y)=(0/0): 0,000 [kN]



3 Análise à Tracção (ETAG, Anexo C, Secção 5.2.2)

	Carga [kN]	Capacidade [kN]	Utilização β_N [%]	Estado
Rotura do aço*	5,000	78,000	7	OK
Rotura por arranque (pull-out)*	5,000	20,000	25	OK
Rotura por cone de betão**	20,000	67,134	30	OK
Rotura por fendilhação (splitting)**	N/A	N/A	N/A	N/A

* ancoragem mais solicitada ** grupo de ancoragens (ancoragens sob tracção)

3.1 Rotura do aço

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	N_{Sd} [kN]
117,000	1,500	78,000	5,000

3.2 Rotura por arranque (pull-out)

$N_{Rk,p}$ [kN]	ψ_c	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}$ [kN]	N_{Sd} [kN]
30,000	1,000	1,500	20,000	5,000

3.3 Rotura por cone de betão

$A_{c,N}$ [mm²]	$A_{c,N}^0$ [mm²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]			
253009	91809	152	303			
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	k_1
0	1,000	0	1,000	1,000	1,000	7,200
$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	N_{Sd} [kN]			
36,541	1,500	67,134	20,000			

Empresa:
 Projectista:
 Endereço:
 Telefone | Fax:
 E-mail:

Página: 3
 Projecto:
 Sub Projecto | Pos. N.º:
 Data: 30/10/2015

4 Análise ao Corte (ETAG, Anexo C, Secção 5.2.3)

	Carga [kN]	Capacidade [kN]	Utilização β_v [%]	Estado
Rotura do aço (sem braço de binário)*	12,500	67,200	19	OK
Cedência do aço (com braço de binário)*	N/A	N/A	N/A	N/A
Rotura por efeito de alavanca (pryout)**	50,000	167,836	30	OK
Rotura do bordo de betão na direcção y+**	50,000	108,341	47	OK

* ancoragem mais solicitada ** grupo de ancoragens (ancoragens relevantes)

4.1 Rotura do aço (sem braço de binário)

$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Sd} [kN]
84,000	1,250	67,200	12,500

4.2 Rotura por efeito de alavanca (pryout)

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	k-factor	
253009	91809	152	303	2,500	
$e_{c1,V}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,V}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$
0	1,000	0	1,000	1,000	1,000
$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c,p}$	$V_{Rd,c1}$ [kN]	V_{Sd} [kN]		
36 541	1 500	167 836	50 000		

4.3 Rotura do bordo de betão na direcção y+

l_f [mm]	d_{nom} [mm]	k_1	α	β	
101	20,0	1,700	0,039	0,050	
c_1 [mm]	c_1' [mm]	$A_{c,V}$ [mm ²]	$A_{c,V}^0$ [mm ²]		
750	667	1700000	2000000		
$\psi_{s,V}$	$\psi_{h,V}$	$\psi_{a,V}$	$e_{c,V}$ [mm]	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{re,V}$
0,925	1,000	1,000	0	1,000	1,000
$V_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{Sd} [kN]		
206.692	1.500	108.341	50.000		

5 Combinação de Cargas de Tracção e Corte (ETAG, Anexo C, Secção 5.2.4)

β_N	β_v	α	Utilização $\beta_{N,v}$ [%]	Estado
0,298	0,462	1,500	48	OK

$$\beta_N^{\alpha} + \beta_v^{\alpha} \leq 1$$

6 Deslocamento (ancoragem mais solicitada)

Carregamento a curto prazo:

N_{Sk}	=	3,704 [kN]	δ_N	=	0,492 [mm]
V_{Sk}	=	18,519 [kN]	δ_v	=	1,042 [mm]
			δ_{NV}	=	1,152 [mm]

Carregamento a longo prazo:

N_{Sk}	=	3,704 [kN]	δ_N	=	0,596 [mm]
V_{Sk}	=	18,519 [kN]	δ_v	=	1,582 [mm]
			δ_{NV}	=	1,690 [mm]

Comentários: Os deslocamentos à tracção são válidos para metade do torque de aperto requerido para o Betão não fendilhado betão! Os deslocamentos ao corte são válidos sem atrito entre o betão e chapa de fixação! A folga do furo no material base e na chapa não é considerada neste cálculo!

Os deslocamentos aceitáveis para as ancoragens dependem da natureza da estrutura a fixar e devem ser definidos pelo projectista!

Empresa:
Projectista:
Endereço:
Telefone | Fax: |
E-mail:

Página: 4
Projecto:
Sub Projecto | Pos. N.º:
Data: 30/10/2015

7 Avisos

- Assume-se que a chapa é suficientemente rígida e indeformável de modo a não se deformar quando sujeita às acções previstas!
- A verificação da transferência de cargas para o material base deve ser efectuada de acordo com ETAG Secção 7! O software considera a aplicação de argamassa sob a chapa de fixação sem cavidades ocas e antes da aplicação das cargas.
- O cálculo somente é válido se o diâmetro do furo não for superior ao valor dado na Tabela 4.1 da ETAG 001, Anexo C! Para diâmetros superiores do furo, ver Capítulo 1.1 da ETAG 001, Anexo C!
- A lista suplementar neste relatório é apenas para informação do utilizador. Em qualquer caso, as instruções para utilização disponibilizadas com o produto têm de ser cumpridas para garantir a correta instalação.

O cálculo da fixação cumpre o regulamento em vigor!

Empresa:
 Projectista:
 Endereço:
 Telefone | Fax: |
 E-mail:

Página: 5
 Projecto:
 Sub Projecto | Pos. N.º:
 Data: 30/10/2015

8 Pormenores da Instalação

Chapa de fixação, aço: -

Perfil: IPBi/HEA; 310 x 300 x 16 x 16 mm

Diâmetro do furo na chapa: $d_f = 22$ mm

Espessura da chapa (introduzir): 8 mm

Espessura da chapa recomendada: não calculado

Limpeza: É necessária a limpeza do furo de acordo com as instruções de instalação.

Tipo e dimensão da ancoragem: HST M20

Torque de aperto: 0,240 kNm

Diâmetro do furo no material base: 20 mm

Profundidade do furo: 140 mm

Espessura mínima do material base: 200 mm

8.1 Acessórios necessários

Perfuração

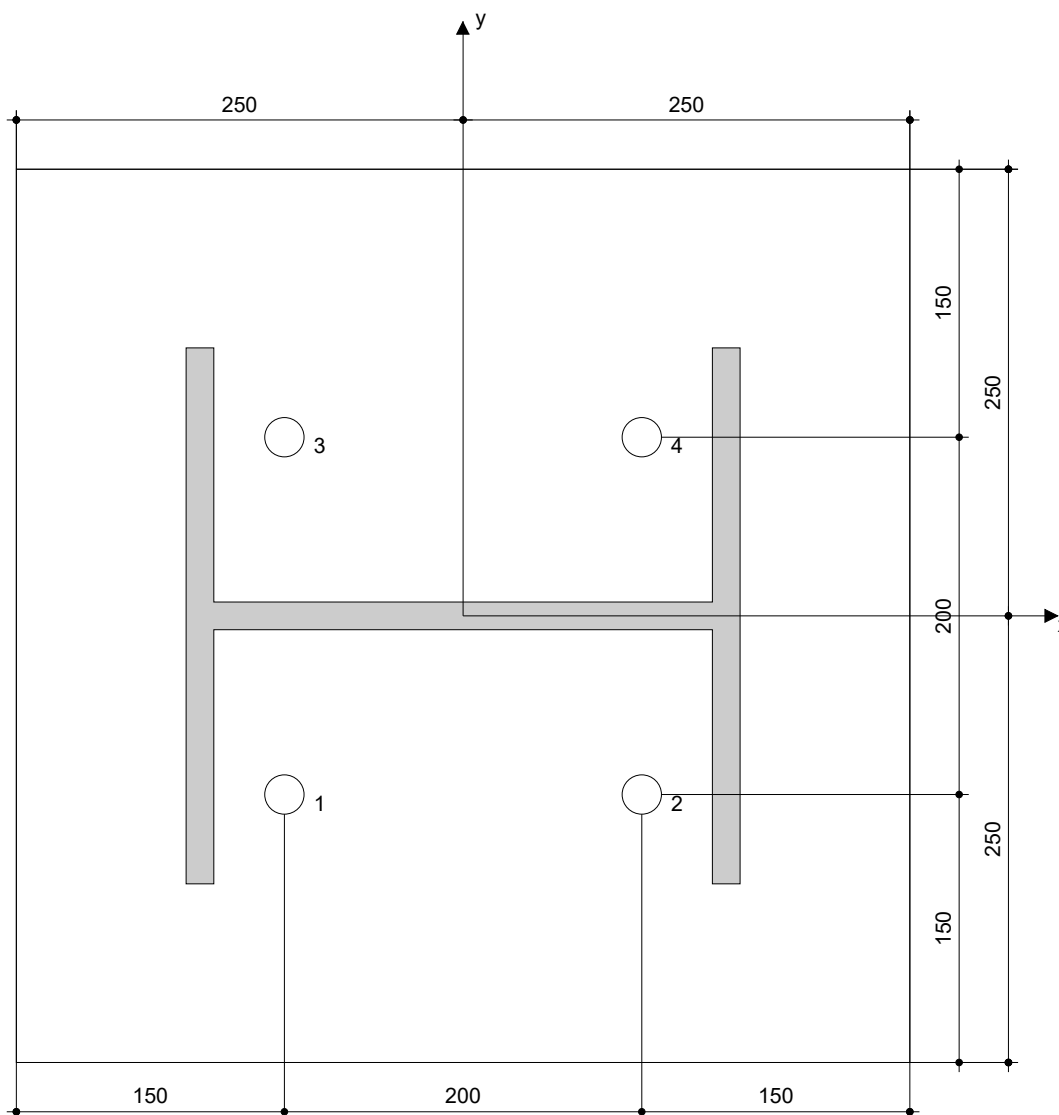
- Martelo perfurador
- Broca de tamanho adequado

Limpeza

- Bomba manual de limpeza

Configuração

- Chave dinamométrica
- Martelo



Coordenadas das ancoragens [mm]

Ancoragem	x	y	C _{-x}	C _{+x}	C _{-y}	C _{+y}
1	-100	-100	750	950	750	950
2	100	-100	950	750	750	950
3	-100	100	750	950	950	750
4	100	100	950	750	950	750

Empresa:
Projectista:
Endereço:
Telefone | Fax: |
E-mail:

Página: 6
Projecto:
Sub Projecto | Pos. N.º:
Data: 30/10/2015

9 Observações; Cooperação

- Todas as informações e todos os dados contidos no Programa só dizem respeito à utilização dos produtos da Hilti e baseiam-se em princípios, fórmulas e regulamentações de segurança em conformidade com avisos técnicos da Hilti e instruções de funcionamento, montagem, ligação, etc., que o utilizador deve seguir à risca. Todos os números aí apresentados são médias; em consequência, testes de utilização específicos devem ser conduzidos antes da utilização do produto da Hilti aplicável. Os resultados dos cálculos executados por intermédio do Programa assentam essencialmente nos dados que aí inseriu. Em consequência, é o único responsável pela ausência de erros, exaustividade e pertinência dos dados inseridos ao seu cuidado. Além disso, é o único responsável pela verificação dos resultados do cálculo e da sua validação por um perito, particularmente no que diz respeito ao cumprimento de normas e permissões aplicáveis antes da sua utilização para o seu sítio em particular. O programa só serve para ajudar a interpretar as normas e as permissões sem nenhuma garantia respeitante à ausência de erros, à exactidão e à pertinência dos resultados ou a sua adaptação a uma aplicação específica.
- Deverá tomar todas as medidas necessárias e razoáveis para impedir ou limitar os danos causados pelo Programa. Mais particularmente, deverá adoptar disposições próprias para efectuar regularmente cópias de segurança dos programas e dos dados e, se aplicável, executar as actualizações regularmente fornecidas pela Hilti. Se não utilizar a funcionalidade AutoUpdate do Programa, deve certificar-se de que utiliza em cada caso a versão actual e actualizada do Programa, executando as actualizações manualmente através do Sítio Web da Hilti. A Hilti não assumirá qualquer responsabilidade por nenhuma consequência, como por exemplo, a necessidade de recuperar requisitos ou programas perdidos ou danificados, que derivem de uma falta culpável da sua parte quanto às suas obrigações.

1 DADOS DA LIGAÇÃO AÇO-BETÃO

1.1. IDENTIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO

Nome do Projeto	Método II_Ligação com buchas mecânicas
N.º ligação	
Tipo de ligação	
Nó estrutural	
Barra estrutural	

1.2. GEOMETRIA DA LIGAÇÃO

1.2.1 PILAR

Altura [m]	
Ângulo de inclinação [grau]	
Secção	HEA 320
Altura [m]	310
Largura [mm]	300
Espessura da alma [mm]	9
Espessura dos banzos [mm]	15.5
Material	S 275
f _{yc} [MPa]	275
f _{uc} [MPa]	460

1.2.2. BASE DE PILAR - CHAPA METÁLICA

Comprimento [mm]	500
Largura[mm]	500
Espessura [mm]	20
Material	S 275
f _{ypd} [MPa]	275
f _{upd} [MPa]	460

1.2.3. DISPOSITIVO DE ANCORAGEM

Número de ancoragens 4

Classe 8,8
 fyb [MPa] 640
 fub [MPa] 800

Diâmetro [mm] 20

Área efetiva da secção do parafuso [mm²] 244.80

N.º linhas parafusos (nv) 2

N.º colunas parafusos (nh) 2

espaçamento horizontal (eh) 200

espaçamento vertical (ev) 200

1.2.3.1 Dimensões do dispositivo de ancoragem

L1 [mm]
 L2 [mm] 101
 L3 [mm]
 L4 [mm]

1.2.3.2 Dimensões da placa de resistência

Formato

Diâmetro [mm]
 Comprimento [mm]
 Largura [mm]
 Espessura [mm]

Se a placa for redonda, será apresentado o diâmetro senão serão apresentados o comprimentos e largura!

Material

fypd [MPa] 275
 fupd [MPa] 460

1.2.3.3 Dimensões da arruela

Comprimento [mm]
 Largura [mm]
 Espessura [mm]

1.2.4. CUTELO/ RIGIDIFICADOR

Comprimento [mm]
 Largura [mm]
 Espessura [mm]

d1
d2

1.2.5. FUNDAÇÃO

Tipo

Comprimento [mm] 1700
Largura[mm] 1700
Altura [mm] 1000

Classe C20/25

1.3 VALIDAÇÃO DA GEOMETRIA E DISPOSIÇÃO DAS ANCORAGENS

Table 18-1: Minimum values for spacing, edge distance and member thickness for non-prestressed headed anchors

Minimum spacing	$s_{min} = 5d \geq 50 \text{ mm}$
Minimum edge distance	$c_{min} = 3d \geq 50 \text{ mm}$
Minimum member thickness ^{a)}	$h_{min} = h_{ef} + t_h + c_\phi$

^{a)} t_h = thickness of anchor head

c_ϕ = required concrete cover for reinforcement in conformance with CEB-FIP Model Code 1990 (CEB, 1993)

Apesar dos valores descritos no fib, foi realizada uma adaptação aos valores apresentados no EC2, uma vez que a prEN1992-4 é uma extensão desse mesmo EC.

d [mm] 20
h [mm] 1000
hef [mm] 101
c1 [mm] 750
c2 [mm] 750
s1 [mm] 200
s2 [mm] 200
dh[mm] 20
c [mm] 25

smin [mm] 100 OK!
cmin [mm] 60 OK!
hmin [mm] 146 OK!

345 VERIFICAÇÃO AO ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ROTURA)

3.1 Verificação ao esforço axial para buchas mecânicas (sem armadura)

3.1.1 Rotura do aço

$N_{rk,s}$ [kN]	117.00	Resistência característica associada à rotura do aço	Consultar ETA!
γM_s	1.5	Fator parcial de segurança ¹²	Tabela 4.1-prEN 1992-4:2013
N_{ed} [kN]	5.00		
$N_{rd,s}$ [kN]	78.00	OK	Bucha mecânica mais carregada Tabela 7.1-prEN 1992-4:2013

3.1.2 Rotura por "pull-out"

$N_{rk,p}$ [kN]	30.00	Resistência característica associada ao fenómeno de "pull-out"	Consultar ETA!
γM_p	1.5	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1-prEN 1992-4:2013
N_{ed} [kN]	5.00		
$N_{rd,p}$ [kN]	20.00	OK	Bucha mecânica mais carregada Tabela 7.1-prEN 1992-4:2013

3.1.4 Rotura por cone de betão

Verificar se existem 3 ou mais bordos com as respetivas distâncias inferiores a $c_{cr,N}$.

$s_{cr,N}$ [mm]	303	Espaçamento entre ancoragens	artº 7.2.1.5 (7.5) - prEN 1992-4:2013
-----------------	-----	------------------------------	---------------------------------------

ccr,N [mm]	151.5	Distância ao bordo	artº 7.2.1.5 (7.5) - prEN 1992-4:2013
c1 [mm]	750	Existem dois bordos a esta distância, assumindo que a ligação é simétrica nas duas direções.	
c2 [mm]	750		
cmáx [mm]	750		
hef[mm]	101		
h'ef [mm]	500.00	São utilizados no caso de existirem 3 ou mais bordos com distâncias inferiores a ccr,N.	
s'cr,N [mm]	1500		
c'cr,N	750		
Condição do betão	Fendilhado		
k9	7.7	Parâmetro com valor definido	artº 7.2.1.6 - prEN 1992-4:2013
fck [MPa]	20	Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias de idade	Quadro 3.1 - NP EN 1992-1-1:2010
hef [mm]	101	Profundidade de embebedimento	
Nrk0,c [kN]	34.95	Resistência característica de uma ancoragem individual colocada em betão	artº 7.2.1.6 (7.14) - prEN 1992-4:2013
Ac0,N [mm²]	91809	Área de referência projetada	artº 7.2.1.6 (7.15) - prEN 1992-4:2013
Ac,N [mm²]	253009	Área real projetada	artº 7.2.1.6 - prEN 1992-4:2013
c [mm]	750	Menor distância ao bordo	

$\psi_{s,N}$	1	Fator que considera as perturbações associadas à distribuição das tensões devido à proximidade do bordo do elemento de betão	artº 7.2.1.6 (7.16) - prEN 1992-4:2013
$\psi_{re,N}$	1	Fator que considera o efeito da densidade do reforço na zona onde a ancoragem é instalada	artº 7.2.1.5 (7.11) - prEN 1992-4:2013
e_N	0	Excentricidade da resultante dos esforços das ancoragens em relação ao centro de gravidade dessas mesmas ancoragens	
$\psi_{ec,N}$	1	Fator que considera o efeito do grupo quando diferentes esforços estão aplicados nas ancoragens individuais	artº 7.2.1.6 (7.17) - prEN 1992-4:2013
$\psi_{M,N}$	1	Fator que considera o efeito de uma força de compressão entre a placa de base e o betão	artº 7.2.1.6 (7.18) - prEN 1992-4:2013
$N_{rk,c}$ [kN]	96.32	Resistência característica no caso de existência do fenómeno de "pull-out"	artº 7.2.1.6 (7.13) - prEN 1992-4:2013

γ_{Mc}	1.50		Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
Ned [kN]	20.00		
Nrd,c[kN]	64.22	OK	Grupo de buchas mecânicas Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013

3.1.5 Rotura por "splitting"

É necessário verificar ao fenómeno de "splitting"?				
1	c [mm]	750	OK	OK
	ccr,sp[mm]	202		
	hmin [mm]	146	OK	
2	wk [mm]		OK	

Não é necessário verificar caso uma das condições seja cumprida

Nrk0,sp [kN]	30.00	artº 7.2.1.7 - prEN 1992-4:2013
--------------	-------	------------------------------------

Ac,N [mm ²]		Área de referência projetada artº 7.2.1.7 (7.15) - prEN 1992-4:2013
Ac,0,N [mm ²]	163216	Área real projetada artº 7.2.1.7 (7.15) - prEN 1992-4:2013

ccr,sp [mm]	202	Distância ao bordo Espaçamento
scr,sp[mm]	404	
$\psi_{s,N}$	1.00	Fator que considera as perturbações associadas à distribuição das tensões devido à proximidade do bordo do elemento de betão artº 7.2.1.6 (7.16) - prEN 1992-4:2013

$\psi_{re,N}$	1	Fator que considera o efeito da densidade do reforço na zona onde a ancoragem é instalada artº 7.2.1.6 (7.11) - prEN 1992-4:2013
---------------	---	--

eN		Excentricidade da resultante dos esforços das ancoragens em relação ao centro de gravidade dessas mesmas ancoragens	
$\psi_{ec,N}$	1	Fator que considera o efeito do grupo quando diferentes esforços estão aplicados nas ancoragens individuais	artº 7.2.1.6 (7.17) - prEN 1992-4:2013
c1 [mm]	750	Distância ao bordo na direção 1	
c2 [mm]	750	Distância ao bordo na direção 2	
$\psi_{h,sp}$	2.00	Fator que considera a influência da espessura do elemento de betão na resistência ao fenómeno de "splitting"	artº 7.2.1.7 (7.24) - prEN 1992-4:2013
Nrk,sp [kN]	0.00	Resistência característica de uma ancoragem ou grupo de ancoragens associado ao fenómeno de "splitting"	artº 7.2.1.7 (7.23) - prEN 1992-4:2013
γ_{Msp}	1.50	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
Ned [kN]	20.00		
Nrd,sp [kN]	0.00	Grupo de buchas mecânicas	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013

II Quadro Resumo

	Modo de rotura	Ned [kN]	Nrd [kN]	Rácio
ASA - BM	Rotura do aço	5.00	78.00	0.064
	Rotura por "pull-out"	5.00	20.00	0.250
	Rotura por cone de betão	20.00	64.22	0.311
	Rotura por "splitting"	N/A	N/A	N/A

3 VERIFICAÇÃO AO ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ROTURA)

3.2 Verificação ao esforço de corte sem armadura (sem efeito de alavanca)

3.2.1 Rotura do aço sem efeito de alavanca

k50
 A_s [mm²]
 f_{uk} [N/mm²]

$V_{rk,s}$ [kN]

artº 7.2.2.3.1
 (7.33)- prEN
 1992-4:2013

tg [mm]

k51

$V_{rk,s,m}$ [kN]

84.00

Resistência característica
 associada à rotura do aço

Consultar
 respetiva ETA

γ_{Ms}

1.25

Fator parcial de segurança

Tabela 4.1-
 prEN 1992-
 4:2013

V_{ed} [kN]

12.5

$V_{rd,s}$ [kN]

67.20

OK

Ancoragem mais
 carregada

Tabela 7.1-
 prEN 1992-
 4:2013

3.2.3 Rotura do betão pelo bordo na direção 1

Verificação da condição imposta em 7.2.2.5 (11)

$c_{2,max}$ [mm] 750

$c_{2,max} \leq 1.5c_1$ OK

$h \leq 1.5c_1$ OK

c'_1 [mm] 666.67

Betão

Fendilhado

Condição do betão

artº 4.6 - prEN
 1992-4:2013

k5	1.7
dnom [mm]	20
lf [mm]	101
fck [Mpa]	20
c1 [mm]	667
alfa	0.039
beta	0.050

Parâmetro com valor definido

artº 7.2.2.5 -
prEN 1992-4:2013

Valor característico da
tensão de rotura do betão
à compressão aos 28 dias
de idade

Quadro 3.1 -
NP EN 1992-1-1:2010

Vrk0,c [N] 184870.76

artº 7.2.2.5
(7.40) - prEN
1992-4:2013

Ac,V [mm²] 1700000

Área de referência
projetada

artº 7.2.2.5 -
prEN 1992-4:2013

Ac,0,v [mm²] 2000000

Área real projetada

artº 7.2.2.5 -
prEN 1992-4:2013

ψs,V 0.925

Fator que considera as
perturbações associadas à
distribuição das tensões
devido à proximidade do
bordo do elemento de
betão

artº 7.2.2.5
(7.44) - prEN
1992-4:2013

ψh,V 1

Fator que considera o
facto de a resistência de
bordo não decrescer
proporcionalmente

artº 7.2.2.5
(7.45) - prEN
1992-4:2013

eN	0	Excentricidade da resultante dos esforços das ancoragens em relação ao centro de gravidade dessas mesmas ancoragens	
$\psi_{ec,V}$	1	Fator que considera o efeito do grupo quando diferentes esforços estão aplicados nas ancoragens individuais	artº 7.2.2.5 (7.46) - prEN 1992-4:2013
alfa v	0	Varia entre 0 e 90º	
$\psi_{alfa,V}$	1.00	Fator que considera o ângulo entre o esforço de corte aplicado e a direção perpendicular ao bordo livre	artº 7.2.2.5 (7.47) - prEN 1992-4:2013
$\psi_{re,V}$	1	Fator que considera o efeito da armadura localizada no bordo	artº 7.2.2.5 (7.46) - prEN 1992-4:2013
Vrk,c [kN]	145.35	Resistência característica associada à roturado betão pelo bordo	artº 7.2.2.3.2 (7.36)- prEN 1992-4:2013
γ_{Mc}	1.5	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
Ved [kN]	50		
Vrd,c [kN]	96.90	Grupo de ancoragens	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013

OK

3.2.3 Rotura do betão pelo bordo na direção 2

Verificação da condição imposta em 7.2.2.5 (11)

c2,max [mm]	750
c2,max ≤ 1.5c1	OK
h ≤ 1.5c1	OK
c'1 [mm]	666.67

Betão Fendilhado

Condição do betão artº 4.6 - prEN 1992-4:2013

k5 1.7

Parâmetro com valor definido artº 7.2.2.5 - prEN 1992-4:2013

dnom [mm] 20

lf [mm] 101

fck [Mpa] 20

Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias Quadro 3.1 - NP EN 1992-1-1:2010

c2 [mm] 666.666667

alfa 0.038923

beta 0.04959344

Vrk0,c [N] 91514.03

artº 7.2.2.5 (7.40) - prEN 1992-4:2013

Ac,V [mm²]

Área de referência projetada artº 7.2.2.5 - prEN 1992-4:2013

Ac,0,v [mm²] 1814512.5

Área real projetada artº 7.2.2.5 - prEN 1992-4:2013

ψs,V 1

Fator que considera as perturbações associadas à distribuição das tensões devido à proximidade do artº 7.2.2.5 (7.44) - prEN 1992-4:2013

ψh,V 1

Fator que considera o facto de a resistência de bordo não decrescer proporcionalmente artº 7.2.2.5 (7.45) - prEN 1992-4:2013

eN 0

ψec,V 1

Excentricidade da resultante dos esforços Fator que considera o efeito do grupo quando diferentes esforços estão aplicados nas ancoragens artº 7.2.2.5 (7.46) - prEN 1992-4:2013

alfa v

ψalfa,V 1.55

Varia entre 0 e 90º Fator que considera o ângulo entre o esforço de corte aplicado e a direção perpendicular ao bordo artº 7.2.2.5 (7.47) - prEN 1992-4:2013

$\psi_{re,V}$	1	Fator que considera o efeito da armadura localizada no bordo	artº 7.2.2.5 (7.46) - prEN 1992-4:2013
$V_{rk,c}$ [kN]	0.00	Resistência característica associada à rotura do betão pelo bordo	artº 7.2.2.3.2 (7.36) - prEN 1992-4:2013
γ_{Mc}	1.5	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
V_{ed} [kN]	50	Grupo de ancoragens	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013
$V_{rd,c}$ [kN]	0.00 KO		

3.2.4 Rotura por "Pry-Out"

hef [mm]	101	definido	
k3	2.5		
Nrk,c [kN]	96.32		
Vrk,cp [kN]	240.81	Resistência característica associada à rotura por pry-out	artº 7.2.2.4 (7.38)- prEN 1992-4:2013
γMs	1.5	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
Ved [kN]	50	Grupo de ancoragens	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013
Vrd,cp [kN]	160.54 OK		

III Quadro Resumo

	Modo de rotura	V_{ed} [kN]	V_{rd} [kN]	Rácio
CSA -sEA	Rotura do aço sem efeito de alavanca	12.50	67.20	0.186
	Rotura do betão pelo bordo na direção 1	50.00	96.90	0.516
	Rotura do betão pelo bordo na direção 2	N/A	N/A	N/A
	Rotura por "pry-out"	50.00	160.54	0.311

3 VERIFICAÇÃO AO ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ROTURA)

3.3 Verificação à combinação dos esforços axial e de corte (sem armadura)

Qual o tipo de ancoragem? Buchas mecânicas

Tem efeito de alavanca? Não

3.3.1 Rotura do aço

Nrd,s [kN]	78.00
Ned [kN]	5.00

Vrd,s [kN]	67.20
Ved [kN]	12.50

VERIFICAÇÃO OK

3.3.2 Restantes modos de rotura

Nrd,i [kN]	20.00
Ned [kN]	5.00

Vrd,i [kN]	0.00
Ved [kN]	12.50

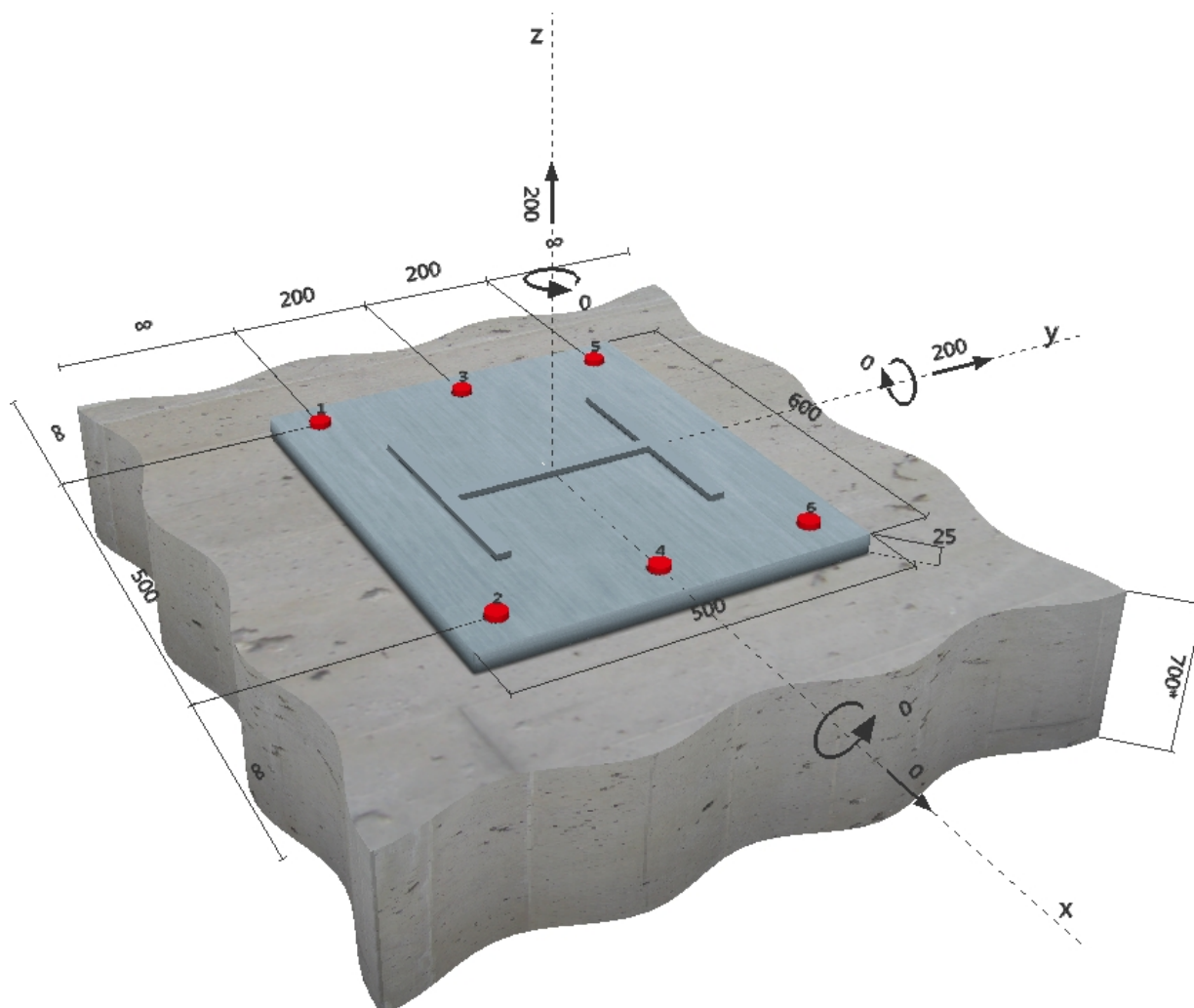
VERIFICAÇÃO OK

ANEXO III

(Método III - Ligação com buchas químicas)

Comentários do projectista:
1 Dados de Cálculo


Tipo e dimensão da ancoragem:	HIT-RE 500 + HIT-V (8.8) M27
Prof. efectiva de ancoragem:	$h_{ef, opti} = 132 \text{ mm}$ ($h_{ef, limit} = 540 \text{ mm}$)
Material:	8.8
Homologação No.:	ETA 04/0027
Publicados Válidos:	20-05-2009 28-05-2014
Verificação:	método de cálculo ETAG BOND; EOTA TR 029
Afastamento da chapa:	$e_b = 0 \text{ mm}$ (sem afastamento da chapa); $t = 25 \text{ mm}$
Chapa de fixação:	$l_x \times l_y \times t = 600 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$; (Espessura da chapa recomendada: não calculado)
Perfil:	IPB/HEB; ($L \times W \times T \times FT$) = $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 19 \text{ mm} \times 19 \text{ mm}$
Material Base:	não fendilhado Betão, C50/60, $f_{cc} = 60.00 \text{ N/mm}^2$; $h = 700 \text{ mm}$, Temp. curto/longo: 0/0 °C
Instalação:	Diâmetro de furo com perfurador, Condições de instalação: seco
Armadura:	Sem armadura ou com armadura com espaçamento $\geq 150 \text{ mm}$ (qq \emptyset) or $\geq 100 \text{ mm}$ ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$) com armadura longitudinal de bordo $d \geq 12$ Existência de armadura para controlar a fendilhação (splitting) de acordo com EOTA TR 029, 5.2.2.6.

Geometria [mm] & Carga [kN, kNm]


Empresa:
Projectista:
Endereço:
Telefone I Fax:
E-mail:

Página: 2
Projecto:
Sub Projecto I Pos. No.:
Data: 16-04-2012

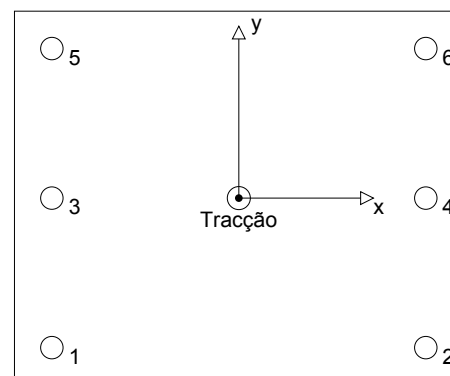
2 Combinação de Carga/Resultantes

Combinação de Carga: Cargas de dimensionamento

Reacções nas ancoragens [kN]

Tracção: (+Tracção;-Compressão)

Ancoragem	Tracção	Carga de corte	Corte em x	Corte em y
1	33.333	33.333	0.000	33.333
2	33.333	33.333	0.000	33.333
3	33.333	33.333	0.000	33.333
4	33.333	33.333	0.000	33.333
5	33.333	33.333	0.000	33.333
6	33.333	33.333	0.000	33.333



Extensão máxima à compressão da alvenaria: - [%]
Resistência máxima à compressão da alvenaria: - [N/mm²]
Tracção resultante em (x/y)=(0/0): 200.000 [kN]
Compressão resultante em (x/y)=(0/0): 0.000 [kN]

3 Análise à Tracção (EOTA TR 029, Secção 5.2.2)

	Carga [kN]	Capacidade [kN]	Utilização β_N [%]	Estado
Rotura do aço*	33.333	244.667	14	OK
Rotura combinada por arranque (pull-out) - cone de betão**	200.000	327.541	62	OK
Rotura por cone de betão**	200.000	227.136	89	OK
Rotura por fendilhação (splitting)**	N/A	N/A	N/A	N/A

* ancoragem mais solicitada **grupo de ancoragens (ancoragens sob tracção)

3.1 Rotura do aço

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	N_{Sd} [kN]
367.000	1.500	244.667	33.333

3.2 Rotura combinada por arranque (pull-out) - cone de betão

$A_{p,N}$ [mm ²]	$A_{p,N}^0$ [mm ²]	$\tau_{Rk,ucr,25}$ [N/mm ²]	$s_{cr,Np}$ [mm]	$c_{cr,Np}$ [mm]	c_{min} [mm]
630432	156816	14.00	396	198	∞
ψ_c	$\tau_{Rk,ucr}$ [N/mm ²]	k	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	
1.091	15.28	3.200	1.000	1.000	
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,Np}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{s,Np}$	$\psi_{re,Np}$
0	1.000	0	1.000	1.000	1.000
$N_{Rk,p}^0$ [kN]	$N_{Rk,p}$ [kN]	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}$ [kN]	N_{Sd} [kN]	
171.095	687.836	2.100	327.541	200.000	

3.3 Rotura por cone de betão

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]			
630432	156816	198	396			
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	k_1
0	1.000	0	1.000	1.000	1.000	10.100
$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	N_{Sd} [kN]			
118.647	2.100	227.136	200.000			

Empresa:
 Projectista:
 Endereço:
 Telefone / Fax:
 E-mail:

Página: 3
 Projecto:
 Sub Projecto / Pos. No.:
 Data: 16-04-2012

4 Análise ao Corte (EOTA TR 029, Secção 5.2.3)

	Carga [kN]	Capacidade [kN]	Utilização β_v [%]	Estado
Rotura do aço (sem braço de binário)*	33.333	147.200	23	OK
Cedência do aço (com braço de binário)*	N/A	N/A	N/A	N/A
Rotura por efeito de alavanca (pryout)**	200.000	635.982	32	OK
Rotura do bordo de betão na direcção **	N/A	N/A	N/A	N/A

* ancoragem mais solicitada ** grupo de ancoragens (ancoragens relevantes)

4.1 Rotura do aço (sem braço de binário)

$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Sd} [kN]
184.000	1.250	147.200	33.333

4.2 Rotura por efeito de alavanca (cone de betão)

A _{c,N} [mm ²]	A _{c,N} ⁰ [mm ²]	c _{cr,N} [mm]	s _{cr,N} [mm]	k-factor		
630432	156816	198	396			
e _{c1,V} [mm]	ψ _{ec1,N}	e _{c2,V} [mm]	ψ _{ec2,N}	ψ _{s,N}	ψ _{re,N}	k ₁
0	1.000	0	1.000	1.000	1.000	10.100
N _{Rk,c} ⁰ [kN]	γ _{M,c,p}	V _{Rd,c1} [kN]	V _{Sd} [kN]			
118.647	1.500	635.982	200.000			

5 Combinação de Cargas de Tracção e Corte (EOTA TR 029, Secção 5.2.4)

β_N	β_v	α	Utilização $\beta_{N,v}$ [%]	Estado
0.881	0.314	1.000	100	OK

$$(\beta_N + \beta_v) / 1.2 \leq 1$$

6 Deslocamento (ancoragem mais solicitada)

Carregamento a curto prazo:

N_{Sk}	=	24.691 [kN]	δ_N	=	0.162 [mm]
V_{Sk}	=	24.691 [kN]	δ_v	=	0.741 [mm]
			δ_{NV}	=	0.758 [mm]

Carregamento a longo prazo:

N_{Sk}	=	24.691 [kN]	δ_N	=	0.404 [mm]
V_{Sk}	=	24.691 [kN]	δ_v	=	1.235 [mm]
			δ_{NV}	=	1.299 [mm]

Comentários: Os deslocamentos à tracção são válidos com metade do torque de aperto requerido para o não fendilhado betão! Os deslocamentos ao corte são válidos sem atrito entre o betão e chapa de fixação! A folga do furo no material base e na chapa não é considerada neste cálculo!

Os deslocamentos aceitáveis para as ancoragens dependem da natureza da estrutura a fixar e devem ser definidos pelo projectista!

7 Avisos

- Assume-se que a chapa é suficientemente rígida e indeformável de modo a não se deformar quando sujeita às acções previstas!
- A verificação da transferência de cargas para o material base deve ser efectuada de acordo com EOTA TR 029 Secção 7!
- O cálculo somente é válido se o diâmetro do furo não for superior ao valor dado na Tabela 4.1 da EOTA 001 TR029! Para diâmetros superiores do furo, ver Capítulo 1.1 da EOTA TR029!
- A tensão de aderência característica depende das temperaturas a curto e longo prazo.
- Por favor, contacte a Hilti para verificar o stock de varão HIT-V.
- Não é necessária armadura de bordo para evitar a rotura por fendilhação

O cálculo da fixação cumpre o regulamento em vigor!

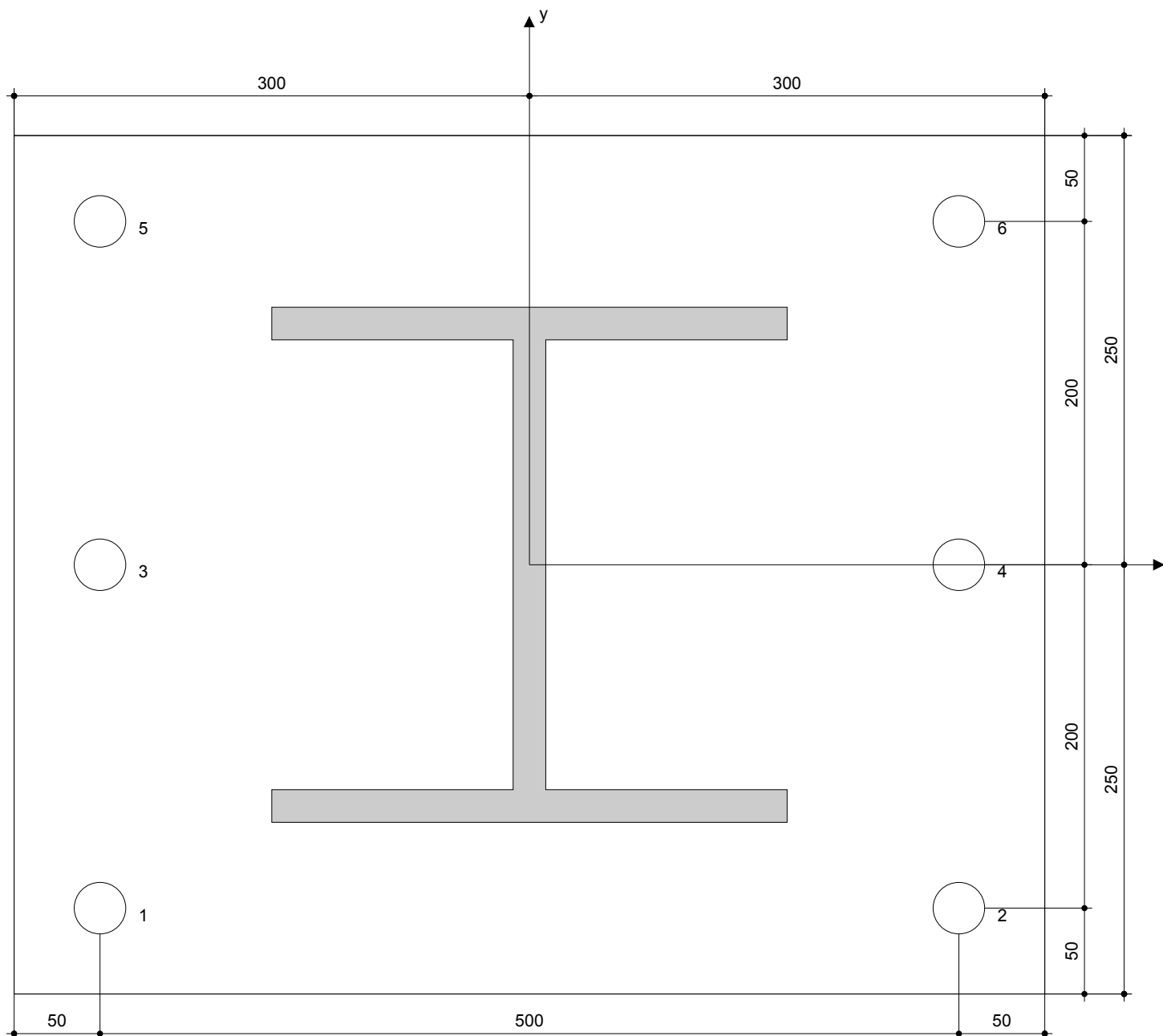
Empresa:
 Projectista:
 Endereço:
 Telefone | Fax:
 E-mail:

Página: 4
 Projecto:
 Sub Projecto | Pos. No.:
 Data: 16-04-2012

9 Pormenores da Instalação

Chapa de fixação, aço: -
 Perfil: IPB/HEB; 300 x 300 x 19 x 19 mm
 Diâmetro do furo na chapa: $d_f = 30$ mm
 Espessura da chapa (introduzir): 25 mm
 Espessura da chapa recomendada: não calculado
 Limpeza: É necessária uma limpeza cuidada do furo (Limpeza Premium)

Tipo e dimensão da ancoragem: HIT-RE 500 + HIT-V (8.8), M27
 Torque de aperto: 0.270 kNm
 Diâmetro do furo no material base: 30 mm
 Profundidade do furo: 132 mm
 Espessura mínima do material base: 192 mm



Coordenadas das ancoragens [mm]

Ancoragem	x	y	c _{-x}	c _{+x}	c _{-y}	c _{+y}	Ancoragem	x	y	c _{-x}	c _{+x}	c _{-y}	c _{+y}
1	-250	-200	-	-	-	-	4	250	0	-	-	-	-
2	250	-200	-	-	-	-	5	-250	200	-	-	-	-
3	-250	0	-	-	-	-	6	250	200	-	-	-	-

Empresa:
Projectista:
Endereço:
Telefone I Fax: |
E-mail:

Página: 5
Projecto:
Sub Projecto I Pos. No.:
Data: 16-04-2012

10 Observações; Cooperação

- Todas as informações e todos os dados contidos no Programa só dizem respeito à utilização dos produtos da Hilti e baseiam-se em princípios, fórmulas e regulamentações de segurança em conformidade com avisos técnicos da Hilti e instruções de funcionamento, montagem, ligação, etc., que o utilizador deve seguir à risca. Todos os números aí apresentados são médias; em consequência, testes de utilização específicos devem ser conduzidos antes da utilização do produto da Hilti aplicável. Os resultados dos cálculos executados por intermédio do Programa assentam essencialmente nos dados que aí inseriu. Em consequência, é o único responsável pela ausência de erros, exaustividade e pertinência dos dados inseridos ao seu cuidado. Além disso, é o único responsável pela verificação dos resultados do cálculo e da sua validação por um perito, particularmente no que diz respeito ao cumprimento de normas e permissões aplicáveis antes da sua utilização para o seu sítio em particular. O programa só serve para ajudar a interpretar as normas e as permissões sem nenhuma garantia respeitante à ausência de erros, à exactidão e à pertinência dos resultados ou a sua adaptação a uma aplicação específica.
- Deverá tomar todas as medidas necessárias e razoáveis para impedir ou limitar os danos causados pelo Programa. Mais particularmente, deverá adoptar disposições próprias para efectuar regularmente cópias de segurança dos programas e dos dados e, se aplicável, executar as actualizações regularmente fornecidas pela Hilti. Se não utilizar a funcionalidade AutoUpdate do Programa, deve certificar-se de que utiliza em cada caso a versão actual e actualizada do Programa, executando as actualizações manualmente através do Sítio Web da Hilti. A Hilti não assumirá qualquer responsabilidade por nenhuma consequência, como por exemplo, a necessidade de recuperar requisitos ou programas perdidos ou danificados, que derivem de uma falta culpável da sua parte quanto às suas obrigações.

1 DADOS DA LIGAÇÃO AÇO-BETÃO

1.1. IDENTIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO

Nome do Projeto	Método III_Ligação com buchas químicas
N.º ligação	
Tipo de ligação	
Nó estrutural	
Barra estrutural	

1.2. GEOMETRIA DA LIGAÇÃO

1.2.1 PILAR

Altura [m]	
Ângulo de inclinação [grau]	
Secção	HEB 300
Altura [m]	300
Largura [mm]	300
Espessura da alma [mm]	11
Espessura dos banzos [mm]	19
Material	S 275
fyc [MPa]	275
fuc [MPa]	460

1.2.2. BASE DE PILAR - CHAPA METÁLICA

Comprimento [mm]	600
Largura[mm]	500
Espessura [mm]	25
Material	S 275
fypd [MPa]	275
fupd [MPa]	460

1.2.3. DISPOSITIVO DE ANCORAGEM

Número de ancoragens 6

Classe 8,8
 fyb [MPa] 640
 fub [MPa] 800

Diâmetro [mm] 27

Área efetiva da secção do parafuso [mm²] 459.40

N.º linhas parafusos (nv) 2

N.º colunas parafusos (nh) 3

espaçamento horizontal (eh) 200

espaçamento vertical (ev) 500

1.2.3.1 Dimensões do dispositivo de ancoragem

L1 [mm]
 L2 [mm] 132
 L3 [mm]
 L4 [mm]

1.2.3.2 Dimensões da placa de resistência

Formato

Diâmetro [mm]
 Comprimento [mm]
 Largura [mm]
 Espessura [mm]

Se a placa for redonda, será apresentado o diâmetro senão serão apresentados o comprimentos e largura!

Material

fypd [MPa] 275
 fupd [MPa] 460

1.2.3.3 Dimensões da arruela

Comprimento [mm]
 Largura [mm]
 Espessura [mm]

1.2.4. CUTELO/ RIGIDIFICADOR

Comprimento [mm]
 Largura [mm]
 Espessura [mm]

d1

d2

1.2.5. FUNDAÇÃO

Tipo

Comprimento [mm]

Largura[mm]

Altura [mm]

Classe

1.3 VALIDAÇÃO DA GEOMETRIA E DISPOSIÇÃO DAS ANCORAGENS

Table 18-1: Minimum values for spacing, edge distance and member thickness for non-prestressed headed anchors

Minimum spacing	$s_{min} = 5d \geq 50 \text{ mm}$
Minimum edge distance	$c_{min} = 3d \geq 50 \text{ mm}$
Minimum member thickness ^{a)}	$h_{min} = h_{ef} + t_h + c_{\phi}$

^{a)} t_h = thickness of anchor head

c_{ϕ} = required concrete cover for reinforcement in conformance with CEB-FIP Model Code 1990 (CEB, 1993)

Apesar dos valores descritos no fib, foi realizada uma adaptação aos valores apresentados no EC2, uma vez que a prEN1992-4 é uma extensão desse mesmo EC.

d [mm]

h [mm]

hef [mm]

c1 [mm]

c2 [mm]

s1 [mm]

s2 [mm]

dh[mm]

c [mm]

smin [mm]	<input type="text" value="135"/>	OK!
cmin [mm]	<input type="text" value="81"/>	OK!
hmin [mm]	<input type="text" value="194"/>	OK!

3 VERIFICAÇÃO AO ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ROTURA)

3.1 Verificação ao esforço axial para buchas químicas (sem armadura)

3.1.1 Rotura do aço

Nrk,s [kN] (c)	367.00	Resistência característica associada à rotura do aço	Consultar ETA, para ancoragens químicas com cápsula!
γMs	1.5	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1-prEN 1992-4:2013
Ned [kN]	33.33		
Nrd,s [kN]	244.67	Bucha química mais carregada	Tabela 7.1-prEN 1992-4:2013

OK

3.1.3 Rotura por combinação dos fenómenos de "pull-out" e cone de betão

Verificar se existem 3 ou mais bordos com as respectivas distâncias inferiores a ccr,Np! Caso

d	27	Diâmetro da bucha	
trk,ucr [N/mm²] (valor para o betão utilizado)	15.26	Fator associado a betão não fendilhado e à sua temperatura, aplicando um coeficiente de correção	Consultar ETA!
trk,ucr [N/mm²] (valor para C20/25)	14	Fator associado a betão não fendilhado e à sua temperatura	Consultar ETA!
scr,Np [mm]	396	Espaçamento entre ancoragens	artº 7.2.1.5 (7.5) - prEN 1992-4:2013
ccr,Np [mm]	198	Distância ao bordo entre ancoragens	artº 7.2.1.5 (7.5) - prEN 1992-4:2013

c1 [mm]	800	Usar hef	Existem dois bordos a esta distância, assumindo que a ligação é simétrica nas duas direções.
c2 [mm]	750		
cmáx [mm]	800		
hef[mm]	132		
h'ef [mm]	533.33	São utilizados no caso de existirem 3 ou mais bordos com distâncias inferiores a ccr,Np.	
s'cr,Np[mm]	1600		
c'cr,Np	800		
Condição do betão	Não Fendilhado		
Nrk,0,p [kN]	170.86	Resistência característica de uma ancoragem individual	artº 7.2.1.5 (7.4) - prEN 1992-4:2013
Ap,0,N [mm²]	156816	Área de referência projetada	artº 7.2.1.5- prEN 1992-4:2013
Ap,N [mm²]	630432	Área real projetada	artº 7.2.1.5- prEN 1992-4:2013
n	6	Número de ancoragens	
$\tau_{Rk,c}$ [N/mm²]	10.54		artº 7.2.1.5 (7.9) - prEN 1992-4:2013
$\psi_{g,0,Np}$	1.00		artº 7.2.1.5 (7.8) - prEN 1992-4:2013
s [mm]	200.00	Espaçamento entre ancoragens	

ψ_g, N_p	1	Fator que considera o efeito de grupo em ancoragens pouco espaçadas	artº 7.2.1.5 (7.7) - prEN 1992-4:2013
c [mm]	750	Menor distância ao bordo	
ψ_s, N_p	1	Fator que considera as perturbações associadas à distribuição das tensões devido à proximidade do bordo do elemento de betão	artº 7.2.1.5 (7.10) - prEN 1992-4:2013
ψ_{re}, N_p	1	Fator que considera o efeito da densidade do reforço na zona onde a ancoragem é instalada	artº 7.2.1.5 (7.11) - prEN 1992-4:2013
eN	0	Excentricidade da resultante dos esforços das ancoragens em relação ao centro de gravidade dessas mesmas ancoragens	artº 7.2.1.5 - prEN 1992-4:2013
ψ_{ec}, N_p	1	Fator que considera o efeito do grupo quando diferentes esforços estão aplicados nas ancoragens individuais	artº 7.2.1.5 (7.12) - prEN 1992-4:2013
Nrk,p [kN]	686.89	Resistência característica associado ao fenómeno de "pull-out"	artº 7.2.1.5 (7.3) - prEN 1992-4:2013
γ_{Mp}	2.10	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
Ned [kN]	200.00		
Nrd,p [kN]	327.09	Grupo de buchas químicas	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013

OK

3.1.4 Rotura por cone de betão

Verificar se existem 3 ou mais bordos com as respectivas distâncias inferiores a $c_{cr,N}$.

$s_{cr,N}$ [mm]	396	Espaçamento entre ancoragens	artº 7.2.1.5 (7.5) - prEN 1992-4:2013
$c_{cr,N}$ [mm]	198	Distância ao bordo	artº 7.2.1.5 (7.5) - prEN 1992-4:2013
c_1 [mm]	800	Existem dois bordos a esta distância, assumindo que a ligação é simétrica nas duas direções.	
c_2 [mm]	750		
$c_{máx}$ [mm]	800		
h_{ef} [mm]	132		
h'_{ef} [mm]	533.33	São utilizados no caso de existirem 3 ou mais bordos com distâncias inferiores a $c_{cr,N}$.	
$s'_{cr,N}$ [mm]	1600		
$c'_{cr,N}$	800		

k_9 11

Parâmetro com valor definido

artº 7.2.1.6 - prEN 1992-4:2013

f_{ck} [MPa] 50

Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias de idade

Quadro 3.1 - NP EN 1992-1-1:2010

h_{ef} [mm] 132

Profundidade de embebimento

$N_{rk0,c}$ [kN] 117.96

Resistência característica de uma ancoragem individual colocada em betão

artº 7.2.1.6 (7.14) - prEN 1992-4:2013

$A_{c0,N}$ [mm²] 156816

Área de referência projetada

artº 7.2.1.6 (7.15) - prEN 1992-4:2013

$A_{c,N}$ [mm ²]	630432	Área real projetada	artº 7.2.1.6 - prEN 1992-4:2013
c [mm]	750	Menor distância ao bordo	
$\psi_{s,N}$	1	Fator que considera as perturbações associadas à distribuição das tensões devido à proximidade do bordo do elemento de betão	artº 7.2.1.6 (7.16) - prEN 1992-4:2013
$\psi_{re,N}$	1	Fator que considera o efeito da densidade do reforço na zona onde a ancoragem é instalada	artº 7.2.1.5 (7.11) - prEN 1992-4:2013
e_N	0	Excentricidade da resultante dos esforços das ancoragens em relação ao centro de gravidade dessas mesmas ancoragens	
$\psi_{ec,N}$	1	Fator que considera o efeito do grupo quando diferentes esforços estão aplicados nas ancoragens individuais	artº 7.2.1.6 (7.17) - prEN 1992-4:2013
$\psi_{M,N}$	1	Fator que considera o efeito de uma força de compressão entre a placa de base e o betão	artº 7.2.1.6 (7.18) - prEN 1992-4:2013

Nrk,c [kN]	474.23	<i>Resistência característica no caso de existência do fenómeno de "pull-out"</i>	<i>artº 7.2.1.6 (7.13) - prEN 1992-4:2013</i>
γMc	2.10		<i>Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013</i>
Ned [kN]	200.00		
Nrd,c[kN]	225.82	OK	<i>Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013</i>
		<i>Grupo de buchas químicas</i>	

3.1.5 Rotura por "splitting"

É necessário verificar ao fenómeno de "splitting"?

1	c [mm]	800	OK	OK
	ccr,sp[mm]	264		
	hmin [mm]	194	OK	
2	wk [mm]		OK	

Não é necessário verificar caso uma das condições seja cumprida

Nrk0,sp [kN]	117.96	<i>artº 7.2.1.7 (7.13) - prEN 1992-4:2013</i>
Ac,N [mm²]		<i>Área de referência projetada</i>
Ac,0,N [mm²]	278784	<i>artº 7.2.1.7 (7.13) - prEN 1992-4:2013</i>
		<i>Área real projetada</i>

ccr,sp [mm] **264**
scr,sp[mm] **528**

Distância ao bordo
Espaçamento

$\psi_{s,N}$	1.00	Fator que considera as perturbações associadas à distribuição das tensões devido à proximidade do bordo do elemento de betão	artº 7.2.1.6 (7.16) - prEN 1992-4:2013
$\psi_{re,N}$	1	Fator que considera o efeito da densidade do reforço na zona onde a ancoragem é instalada	artº 7.2.1.6 (7.11) - prEN 1992-4:2013
e_N		Excentricidade da resultante dos esforços das ancoragens em relação ao centro de gravidade dessas mesmas ancoragens	
$\psi_{ec,N}$	1	Fator que considera o efeito do grupo quando diferentes esforços estão aplicados nas ancoragens individuais	artº 7.2.1.6 (7.17) - prEN 1992-4:2013
$\psi_{h,sp}$	2	Fator que considera a influência da espessura do elemento de betão na resistência ao fenómeno de "splitting"	artº 7.2.1.7 (7.24) - prEN 1992-4:2013
$N_{rk,sp}$ [kN]	0	Resistência característica de uma ancoragem ou grupo de ancoragens associado ao fenómeno de "splitting"	artº 7.2.1.7 (7.23) - prEN 1992-4:2013
$\gamma_{M_{sp}}$	1.50		Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
N_{ed} [kN]	200.00		
$N_{rd,sp}$ [kN]	0.00 KO	Grupo de buchas químicas	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013

II: Quadro Resumo

	Modo de rotura	Ned [kN]	Nrd [kN]	Rácio
ACA - BQ	Rotura do aço	33.33	244.67	0.136
	Rotura por combinação de modos	200.00	327.09	0.611
	Rotura por cone de betão	200.00	225.82	0.886
	Rotura por "splitting"	N/A	N/A	N/A

3 VERIFICAÇÃO AO ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ROTURA)

3.2 Verificação ao esforço de corte sem armadura (sem efeito de alavanca)

3.2.1 Rotura do aço sem efeito de alavanca

k50	0.5
As [mm ²]	459.40
fuk [N/mm ²]	800

Vrk,s [kN] 183.76

artº 7.2.2.3.1
(7.33)- prEN
1992-4:2013

tg [mm] 0

k51 1

Vrk,s,m [kN] 183.76

Resistência característica
associada à rotura do aço

artº 7.2.2.3.1 -
prEN 1992-
4:2013

γMs 1.25

Fator parcial de segurança

Tabela 4.1-
prEN 1992-
4:2013

Ved [kN] 33.33

Vrd,s [kN] 147.01 OK

Ancoragem mais
carregada

Tabela 7.1-
prEN 1992-
4:2013

3.2.3 Rotura do betão pelo bordo na direção 1

Verificação da condição imposta em 7.2.2.5 (11)

c1,max [mm]	800
c2,max $\leq 1.5c1$	OK
h $\leq 1.5c1$	OK

c'1 [mm] 533.333333

Betão Não Fendilhado

Condição do betão

artº 4.6 - prEN
1992-4:2013

k5 2.4
dnom [mm] 27
lf [mm] 132
fck [Mpa] 50
c1 [mm] 533.333333
alfa 0.04974937
beta 0.05506467

Parâmetro com valor definido

artº 7.2.2.5 -
prEN 1992-4:2013

Valor característico da
tensão de rotura do betão
à compressão aos 28 dias
de idade

Quadro 3.1 -
NP EN 1992-1-1:2010

Vrk0,c [N] 233129.99

artº 7.2.2.5
(7.40) - prEN
1992-4:2013

Ac,V [mm²]

Área de referência
projetada

artº 7.2.2.5 -
prEN 1992-4:2013

Ac,0,v [mm²]

2880000

Área real projetada

artº 7.2.2.5 -
prEN 1992-4:2013

ψs,v

1

Fator que considera as
perturbações associadas à
distribuição das tensões
devido à proximidade do
bordo do elemento de
betão

artº 7.2.2.5
(7.44) - prEN
1992-4:2013

ψh,v

1

Fator que considera o
facto de a resistência de
bordo não decrescer
proporcionalmente

artº 7.2.2.5
(7.45) - prEN
1992-4:2013

eN	0	Excentricidade da resultante dos esforços das ancoragens em relação ao centro de gravidade dessas mesmas ancoragens	
$\psi_{ec,V}$	1	Fator que considera o efeito do grupo quando diferentes esforços estão aplicados nas ancoragens individuais	artº 7.2.2.5 (7.46) - prEN 1992-4:2013
alfa v		Varia entre 0 e 90º	
$\psi_{\alpha,V}$	1.55	Fator que considera o ângulo entre o esforço de corte aplicado e a direção perpendicular ao bordo livre	artº 7.2.2.5 (7.47) - prEN 1992-4:2013
$\psi_{re,V}$	1	Fator que considera o efeito da armadura localizada no bordo	artº 7.2.2.5 (7.46) - prEN 1992-4:2013
Vrk,c [kN]	0.00	Resistência característica associada à roturado betão pelo bordo	artº 7.2.2.3.2 (7.36)- prEN 1992-4:2013
γ_{Mc}	1.5	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
Ved [kN]	200		
Vrd,c [kN]	0.00 KO	Grupo de ancoragens	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013

3.2.3 Rotura do betão pelo bordo na direção 2

Verificação da condição imposta em 7.2.2.5 (11)

c2,max [mm]	750
c2,max ≤ 1.5c1	OK
h ≤ 1.5c1	OK
c'1 [mm]	500

Betão Fendilhado

Condição do betão artº 4.6 - prEN 1992-4:2013

k5 1.7

Parâmetro com valor definido artº 7.2.2.5 - prEN 1992-4:2013

dnom [mm] 27

lf [mm] 132

fck [Mpa] 50

Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias Quadro 3.1 - NP EN 1992-1-1:2010

c2 [mm] 500

alfa 0.05138093

beta 0.05578003

Vrk0,c [N] 154473.79

artº 7.2.2.5 (7.40) - prEN 1992-4:2013

Ac,V [mm²]

Área de referência projetada artº 7.2.2.5 - prEN 1992-4:2013

Ac,0,v [mm²] 2880000

Área real projetada artº 7.2.2.5 - prEN 1992-4:2013

ψs,V 1

Fator que considera as perturbações associadas à distribuição das tensões devido à proximidade do artº 7.2.2.5 (7.44) - prEN 1992-4:2013

ψh,V 1

Fator que considera o facto de a resistência de bordo não decrescer proporcionalmente artº 7.2.2.5 (7.45) - prEN 1992-4:2013

eN 0

ψec,V 1

Excentricidade da resultante dos esforços Fator que considera o efeito do grupo quando diferentes esforços estão aplicados nas ancoragens artº 7.2.2.5 (7.46) - prEN 1992-4:2013

alfa v

ψalfa,V 1.55

Varia entre 0 e 90º Fator que considera o ângulo entre o esforço de corte aplicado e a direção perpendicular ao bordo artº 7.2.2.5 (7.47) - prEN 1992-4:2013

$\psi_{re,V}$	1	Fator que considera o efeito da armadura localizada no bordo	artº 7.2.2.5 (7.46) - prEN 1992-4:2013
$V_{rk,c}$ [kN]	0.00	Resistência característica associada à roturado betão pelo bordo	artº 7.2.2.3.2 (7.36)- prEN 1992-4:2013
γ_{Mc}	1.5	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
V_{ed} [kN]	200		
$V_{rd,c}$ [kN]	0.00	Grupo de ancoragens	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013

3.2.4 Rotura por "Pry-Out"

hef [mm]	132		
k_3	2	definido	
$N_{rk,c}$ [kN]	474.23	Ir às verificações nas folhas para cada tipo de dispositivo e recalcular $N_{rk,c}$ tendo em conta as novas áreas!	
$V_{rk,cp}$ [kN]	948.45	Resistência característica associada à rotura por pry-out	artº 7.2.2.4 (7.38)- prEN 1992-4:2013
γ_{Ms}	1.5	Fator parcial de segurança	Tabela 4.1- prEN 1992-4:2013
V_{ed} [kN]	200		
$V_{rd,cp}$ [kN]	632.30	Grupo de ancoragens	Tabela 7.1- prEN 1992-4:2013

III Quadro Resumo

	Modo de rotura	V_{ed} [kN]	V_{rd} [kN]	Rácio
CSA -sEA	Rotura do aço sem efeito de alavanca	33.33	147.01	0.227
	Rotura do betão pelo bordo na direção 1	N/A	N/A	N/A
	Rotura do betão pelo bordo na direção 2	N/A	N/A	N/A
	Rotura por "pry-out"	200.00	632.30	0.316

3 VERIFICAÇÃO AO ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ROTURA)

3.3 Verificação à combinação dos esforços axial e de corte (sem armadura)

Qual o tipo de ancoragem? Buchas químicas

Tem efeito de alavanca? Não

3.3.1 Rotura do aço

Nrd,s [kN]	244.67
Ned [kN]	33.33

Vrd,s [kN]	147.01
Ved [kN]	33.33

VERIFICAÇÃO OK

3.3.2 Restantes modos de rotura

Nrd,i [kN]	316.15
Ned [kN]	33.33

Vrd,i [kN]	0.00
Ved [kN]	33.33

VERIFICAÇÃO OK

